

4.2.1).

Possiamo osservare che il $Q_{7,10}$ naturale, cioè calcolato aggiungendo alle portate misurate i prelievi al netto delle restituzioni e degli scarichi, nella maggior parte dei casi è inferiore alla portata calcolata facendo ricorso al coefficiente unitario. Fra questi, lo scarto percentuale maggiore lo presentano il Canale Maestro della Chiana, l'Arno a S. Giovanni alla Vena, la Greve, la Pesa e l'Era: nei bacini sottesi le precipitazioni non sono sufficienti a fornire un deflusso minimo quale risulterebbe in base alla portata per unità areale.

Fra i corsi d'acqua con $Q_{7,10}$ maggiore della portata che si ottiene applicando il contributo areale unitario, spicca il Bisenzio a Gamberame: l'elevata portata minima effettiva è certamente in relazione con le risorse idriche sotterranee della Calvana, che forniscono al fiume una buona portata di base anche nel periodo estivo.

Questi dati confermano che il criterio della portata unitaria non può essere applicato, per definire il minimo deflusso vitale, a tutti i corsi d'acqua di un bacino, se non con fattori correttivi che tengano conto delle differenze climatiche e fisiografiche ed ambientali dei vari sottobacini, criterio peraltro usato da diversi enti ed autorità nazionali ed estere.

Per i bacini idrografici della serie B, mancando le misure del deflusso, è possibile solo un calcolo approssimativo delle portate minime, fatto con le seguenti considerazioni:

- le portate minime si registrano dopo molti giorni

senza pioggia e quindi si tratta dei valori minimi del deflusso di base;

- per i bacini idrografici suddetti è stato calcolato il deflusso di base medio annuo;
- si può ammettere che il deflusso di base minimo sia direttamente proporzionale al deflusso di base annuo.

Pertanto il calcolo è stato fatto con la proporzione:

$$Q_{7,10} : Q'_{7,10} = D_{b \text{ annuo}} : D'_{b \text{ annuo}}$$

dove:

- $Q_{7,10}$ è la portata minima cercata per un bacino della serie B;
- $Q'_{7,10}$ è la portata minima del bacino della serie A che comprende il bacino suddetto o che gli è più vicino;
- $D_{b \text{ annuo}}$ è il deflusso di base medio annuo calcolato per il bacino della serie B
- $D'_{b \text{ annuo}}$ è il deflusso minimo del bacino della serie A che comprende il bacino suddetto o che gli è più vicino

I risultati di questo calcolo sono in tabella 24, dove oltre alle portate minime "naturali" calcolate con le proporzioni sopra indicate, sono riportate anche le portate in alveo effettive a seguito della somma algebrica con prelievi massimi e scarichi.

Tabella 24 - Portate (mc/s) minime settimanali con tempo di ritorno 10 anni, misurate e "naturali", alle sezioni di chiusura dei bacini idrografici (bacini della serie B) e confronto col deflusso minimo vitale calcolato tramite il coefficiente unitario.

	$Q_{7,10}$ naturali	Prelievi meno restituzioni e scarichi	$Q_{7,10}$ in alveo	deflusso = 1,6 l/s.Kmq
1 - Bientina	0,249	0,189	0,060	0,494
2 - Padule di Fucecchio (Usciana)	1,346	-0,376	1,722	0,784
3 - Ombrone	0,683	-0,291	0,974	0,775
4 - Bisenzio	1,118	0,994	0,124	0,493
5 - Sieve	1,331	1,117	0,214	1,341
6 - Mugnone	0,045	-1,265	1,310	0,115
7 - Casentino (Arno)	1,585	0,815	0,770	1,404
8 - Chiana	1,074	0,574	0,500	2,193
9 - Valdarno Superiore	1,580	0,807	0,773	1,630
10 - Greve	0,110	-0,087	0,197	0,465
11 - Pesa	0,146	0,014	0,132	0,538
12 - Orme	0,013	-0,006	0,019	0,090
13 - Elsa	0,889	-0,521	1,410	1,384
14 - Egola	0,074	0,099	-0,025	0,183
15 - Era	0,288	0,060	0,228	0,953
16 - Tora	0,061	-0,009	0,070	0,169

Nella tabella non sono stati inseriti i bacini costieri del Fiume Morto e della Pianura di Pisa, in quanto non c'è un corso d'acqua che raccolga le acque di ruscellamento, ma una serie di canali, spesso a scolo meccanico, la cui portata non dipende direttamente dalle precipitazioni.

Relativamente al Valdarno Superiore, il deflusso $Q_{7,10}$ naturale è quello che sarebbe originato dalle sole precipitazioni nel bacino

geografico: quello effettivo si ottiene sommando al valore indicato il $Q_{7,10}$ del Casentino e quello della Valdichiana.

Si osservi che per l'Egola la portata in alveo viene negativa: questo dipende dal fatto che gli scarichi superano la somma dei prelievi netti e delle portate $Q_{7,10}$ naturali calcolate. In realtà, se questi valori sono esatti il $Q_{7,10}$ in alveo sarà uguale a zero.

Si precisa che gli scarichi sono calcolati

nell'ipotesi che il totale annuo sia uniformemente distribuito nel corso dell'anno. Inoltre il bilancio è fatto alla chiusura del bacino; nei vari punti dell'asta fluviale il bilancio sarà più o meno diverso, in relazione soprattutto alla distribuzione dei prelievi e degli scarichi.

A seguito delle precisazioni di cui sopra si ritiene che i valori riportati in tabella debbano essere considerati non tanto in valore assoluto, ma in quanto permettono di evidenziare le situazioni nelle quali i deflussi minimi sono maggiormente condizionati dai prelievi e dagli scarichi che dalle portate climatiche.

3.4.3 Portate minime climatiche attese

Le portate minime sopra riportate non corrispondono esattamente alle *portate minime climatiche*, ovvero quelle che si avrebbero se i deflussi dipendessero solo dalle precipitazioni nei bacini: quelle effettivamente registrate sono alterate dai prelievi e dagli scarichi, quelle calcolate aggiungendo i prelievi netti sono condizionate dalla validità dei valori di questi prelievi, valori approssimativi sia perché conosciamo le portate concesse ma non quelle effettivamente prelevate, sia perché non ne conosciamo la distribuzione nell'arco dell'anno. Inoltre, per quelle sezioni fluviali che hanno a monte invasi importanti, le portate minime sono legate alla gestione dei volumi d'acqua invasati, che non siamo in grado di valutare. Ed è proprio sulle portate minime che i prelievi, gli scarichi e i rilasci dalle dighe hanno la maggiore incidenza percentuale.

Una stima più valida si basa sulla *curva di*

esaurimento delle portate del corso d'acqua. Questa curva corrisponde allo scarico delle riserve idriche sotterranee (quindi al deflusso di base) nel periodo senza piogge. La curva ha un andamento esponenziale negativo; la relazione matematica più usata per esprimerla è la *formula di Maillet*:

$$Q_t = Q_0 \cdot e^{-\alpha t}$$

Dove:

Q_t	portata espressa in mc/s al generico tempo t
Q_0	portata espressa in mc/s al generico tempo al tempo t_0 .
t	tempo espresso in giorni
α	coefficiente di esaurimento, che esprime la velocità con cui la portata decresce. In un diagramma semilogaritmico ($\log Q-t$) la curva esponenziale diviene una retta, che permette di calcolare facilmente il coefficiente angolare α , anche col metodo grafico.

Negli idrogrammi delle portate giornaliere sono generalmente riconoscibili, negli anni con una distribuzione normale delle piogge e nel periodo che va dalla primavera alla fine dell'estate, dei decrementi di portata che seguono la legge esponenziale di Maillet.

E' quindi possibile tracciare la retta corri-

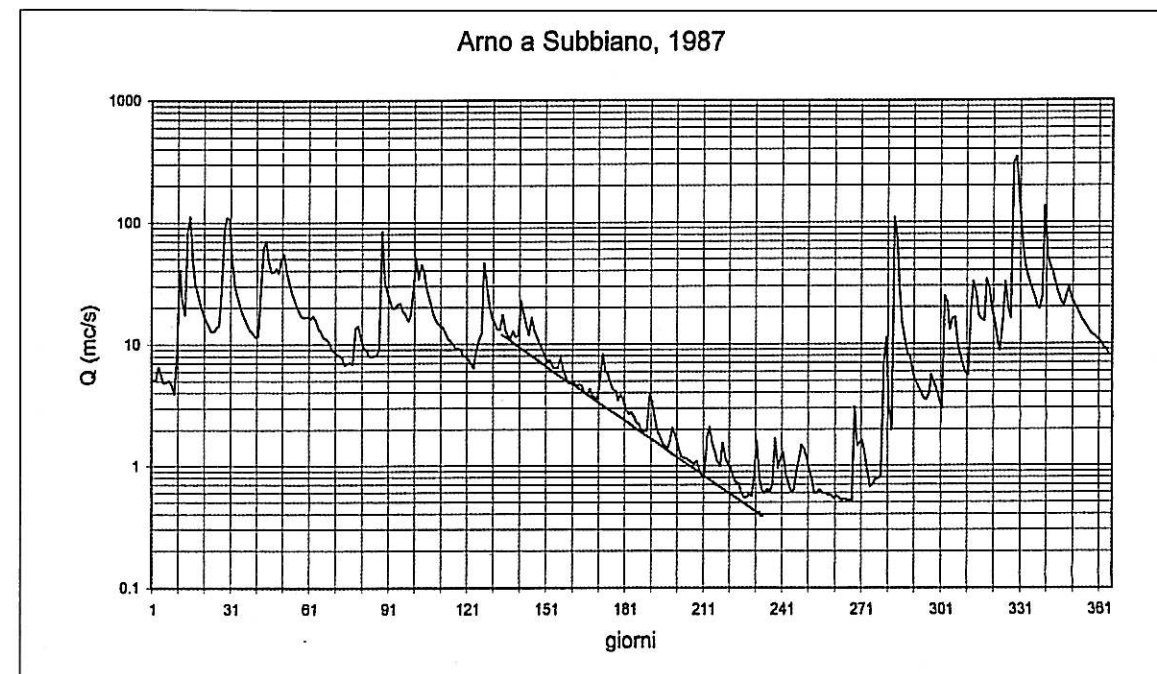
spondente all'esaurimento delle portate, il cui coefficiente angolare α è caratteristico di ogni bacino in quanto rispecchia la permeabilità degli acquiferi che forniscono il deflusso di base.

La Fig. 13 riporta, a titolo di esempio, un idrogramma con le portate medie giornaliere, corrette con i prelievi e gli scarichi calcolati

con i criteri illustrati a par. 3.2.1 per avere le portate naturali. Sull'idrogramma può essere disegnata manualmente la curva di esaurimento: non è possibile il disegno della retta per via matematica, se non attraverso complesse elaborazioni che non portebbero comunque ad un risultato migliore.

Ovviamente il calcolo del coefficiente medio α di ogni sezione fluviale risulta tanto

Fig. 13 - Idrogramma dell'Arno a Subbiano, con disegno della retta di esaurimento delle portate.



più valido quanto maggiore è il numero di anni disponibili.

Oltre al coefficiente medio α , per ogni bacino è stata individuata la "posizione media"

della curva di esaurimento rispetto ai giorni dell'anno, facendo la media dei giorni dell'anno nei quali la portata di esaurimento raggiunge un valore determinato. Per il bacino dell'El-

sa, ad esempio, la portata di esaurimento (con α medio uguale a 0,0065) raggiunge il valore di 1 mc/s al 236° giorno dell'anno (ovvero il 24 agosto).

Questi due parametri consentono di tracciare la curva di esaurimento media, con la quale si possono calcolare le portate attese nel periodo di magra.

La tabella 25 riporta i dati caratteristici delle curve di esaurimento medie per le diver-

se sezioni fluviali con idrometrografi. Nella tabella ci sono anche le *portate minime attese*, calcolate per alcune date fisse, nell'ipotesi che nell'estate e nel primo autunno non ci siano precipitazioni capaci di incrementare in maniera significativa il deflusso di base.

I valori della tabella non possono essere

Tabella 25 - Coefficiente angolare delle curve di esaurimento e portate minime attese (mc/s) alle sezioni idrografiche (bacini della serie A).

		Alfa	Qt	il giorno	Q al 31/7	Q al 31/8	Q al 30/9	Q al 31/10
A	Can.M.della Chiana a p.Ferr. Fi-Ro	0,0311	1,0	173	0,2980	0,1130	0,0450	0,0170
B	Arno a Subbiano	0,0303	1,0	207	0,8590	0,3360	0,1350	0,0530
C	Arno a Stia	0,0291	0,1	207	0,0860	0,0350	0,0140	0,0060
D	Sieve a Fomacina	0,0302	1,0	208	0,8900	0,2200	0,1400	0,0600
E	Sieve a Ponte del Bilancino	0,0383	1,0	159	0,1300	0,0410	0,0130	0,0040
F	Bisenzio a Gamberame	0,0274	1,0	163	0,2600	0,1100	0,0490	0,0210
G	Elsa a Castelfiorentino	0,0065	1,0	236	0,9600	0,7800	0,6400	0,5200
H	Bisenzio a Praticello	0,0284	1,0	128	0,0950	0,0400	0,0170	0,0070
I	Nievole a Colonna	0,0886	0,1	171	0,0260	0,0017	0,0001	0,0000
L	Arno a S.Giovanni alla Vena	0,0193	10,0	183	5,7140	3,1410	1,7600	0,9680
M	Arno a Nave di Rosano	0,0242	10,0	168	3,4500	1,6300	0,7900	0,3700
N	Greve a Ponte dei Falciani	0,0549	0,1	175	0,0130	0,0024	0,0050	0,0001
O	Pesa a Sambuca	0,0371	0,1	186	0,0380	0,0120	0,0040	0,0010
P	Era a Capannoli	0,0500	0,1	178	0,0180	0,0039	0,0090	0,0020
Q	Vincio a Cireglio	0,0622	0,0	157	0,0100	0,0030	0,0005	0,0000

presi come validi in assoluto, in particolare per quanto riguarda le date nelle quali quelle portate minime saranno raggiunte: queste dipenderanno dalla data d'inizio della curva di esaurimento, che sarà diversa nei diversi anni in relazione alla distribuzione delle piogge.

Si tratta comunque di valori minimi raggiungibili solo negli anni più siccitosi.

Si è cercato anche di calcolare il valore di α per i bacini senza misure del deflusso (serie B). Il metodo è stato ancora una volta quello della regressione multipla, applicata ai valori ∞ dei bacini della serie A.

Il modello che in questo caso si vuole applicare ai dati reali prevede la seguente struttura:

Coefficiente alfa = f (permeabilità, uso del suolo)

Infatti sono solo queste due variabili, fra i parametri a disposizione, che possono avere influenza sul valore del coefficiente della curva di esaurimento.

I risultati ottenuti dall'elaborazione indicano come modello il seguente:

coefficiente alfa = 0.009067 (permeabilità) - 4.6364E-04 (uso del suolo)

Anche senza calcolare i due parametri

beta, si rileva che la permeabilità delle rocce del bacino incide, come è ovvio, sul coefficiente alfa più dell'uso del suolo.

Il valore di R^2 risulta 0.65803, piuttosto scarso, probabilmente perché α dipende anche dalle dimensioni dei serbatoi idrici sotterranei, che l'equazione non considera.

Applicando l'equazione si ottengono i valori di α della Tabella 26.

Anche per i bacini della serie B si è cercato di calcolare le *portate minime attese* per alcune date fisse, nell'ipotesi che nell'estate e nel primo autunno non ci siano precipitazioni capaci di incrementare in maniera significativa il deflusso di base. In questo caso non ci sono dei punti partenza certi per la curva di esaurimento, cioè non sappiamo qual è mediamente la portata di base ad un certo giorno dell'anno. A questa mancanza si è rimediato ipotizzando che il rapporto fra la portata di base e la portata totale del mese di giugno, per questi bacini, sia uguale allo stesso rapporto per il bacino della serie A con il valore di α più prossimo.

I risultati, contenuti nella stessa Tabella 26, sono certamente meno validi rispetto a quelli trovati per i bacini della serie A e vanno considerati solo per l'ordine di grandezza.

Nonostante la prevalenza di rocce a

Tabella 26 - Parametri caratteristici delle curve di esaurimento e portate minime attese (mc/s) alle sezioni di chiusura dei bacini idrografici (bacini della serie B).

	Alfa	Q al 30/6	Q al 31/7	Q al 31/8	Q al 30/9	Q al 31/10
Padule di Bientina (Canale Navarecchio)	0,0412	0,0735	0,0205	0,0057	0,0017	0,0005
Padule di Fucecchio (Canale Usciana)	0,0285	1,9406	0,8021	0,3315	0,1410	0,0583
Ombrone	0,0315	1,1422	0,4302	0,1620	0,0630	0,0237
Bisenzio	0,0223	0,8584	0,4300	0,2154	0,11,03	0,0553
Sieve	0,0302	2,3514	0,9220	0,3615	0,1461	0,0573
Mugnone	0,0413	0,0968	0,0269	0,0075	0,0022	0,0006
Casentino (Arno)	0,0301	2,7153	1,0698	0,4201	0,1703	0,0670
Chiana	0,0298	0,8262	0,3280	0,1302	0,0533	0,0211
Valdarno Superiore	0,0272	2,6305	1,1320	0,4871	0,2154	0,0927
Greve	0,0401	0,1127	0,0325	0,0094	0,0028	0,0008
Pesa	0,0315	0,3000	0,1130	0,0426	0,0165	0,0062
Orme	0,0403	0,0152	0,0044	0,0013	0,0004	0,0001
Elsa	0,0062	1,2616	1,0410	0,8590	0,7132	0,5885
Egola	0,0368	0,0360	0,0115	0,0037	0,0012	0,0004
Era	0,0255	0,0727	0,033	0,0150	0,0070	0,0032
Tora	0,0385	0,0278	0,0084	0,0026	0,0008	0,0002



Foto 7 - L'Arno alla Roffia (S. Miniato)

4. ACQUE SOTTERRANEE

bassa permeabilità nel bacino dell'Arno, le acque sotterranee costituiscono la risorsa più importante e più utilizzata. Infatti, oltre a fornire più del 80% dell'acqua per usi agricoli ed industriali, i pozzi, ed in parte assai minore le sorgenti, rappresentano la risorsa principale per la maggior parte degli acquedotti civili; delle principali città, solo Firenze ed Arezzo utilizzano in prevalenza acqua di superficie.

Il bacino è caratterizzato da una grande varietà di rocce e quindi suddiviso in unità idrogeologiche con caratteristiche di permeabilità assai diverse. Generalmente gli affioramenti di rocce permeabili sono poco estesi, il che comporta che gli acquiferi risultano frammentati e separati da rocce poco permeabili, che contengono risorse idriche singolarmente non elevate (salvo alcune eccezioni) ma complessivamente consistenti.

Di seguito gli acquiferi sono stati trattati distinguendo in acquiferi permeabili per porosità e permeabili per fratturazione.

4.1 ACQUIFERI PER POROSITÀ

Alla prima categoria appartengono i sedimenti granulari non consolidati che vanno dalle sabbie alle ghiaie e ai ciottolami. Hanno una elevata porosità primaria (formatasi insieme al sedimento, come spazio intergranulare) e quindi possono immagazzinare buone percentuali d'acqua, sino al 40% del volume; la loro permeabilità aumenta con le dimensioni dei granuli. Si tratta di sedimenti marini o continentali (fluvio-lacustri e fluviali), formatesi dal Miocene all'Attuale.

Gli acquiferi di questa categoria possono

essere divisi in due gruppi, in base alla loro importanza.

Gli acquiferi più importanti sono i depositi alluvionali recenti, distribuiti dall'Arno e dai suoi affluenti nel periodo geologico più recente (Pleistocene Superiore - Olocene). Sono costituiti da ghiaie e sabbie, la cui permeabilità varia in funzione della percentuale di limo e argilla. Questi acquiferi sono presenti, anche con spessori di varie decine di metri, nelle pianure dei bacini intermontani ed in quelle costiere, ma se ne trovano anche i corrispondenti delle valli minori, sia pure in strisce sottili e di spessore limitato.

I sedimenti alluvionali sono in genere ben alimentati, sia dall'infiltrazione delle acque di pioggia sia dagli alvei fluviali; in qualche caso usufruiscono anche della ricarica laterale e profonda delle rocce incassanti. Ciò rappresenta un elemento importante, in quanto la buona alimentazione consente di compensare l'acqua estratta dai pozzi (sempre che i pompaggi non superino la ricarica media annuale).

Si deve osservare che, in generale, le ghiaie e le sabbie affiorano solo nei conoidi fluviali, ovvero nelle zone in cui i corsi d'acqua sboccano nelle pianure e/o nella parte alta delle loro valli; nella maggior parte delle pianure gli acquiferi sono coperti da qualche metro di limo argilloso o sabbioso, che corrisponde al materiale sedimentato a seguito degli eventi alluvionali. Pertanto la litologia affiorante, di solito a bassa permeabilità, non deve essere considerata rappresentativa dell'intero spessore delle alluvioni.

Nelle pianure alluvionali si trovano le falde idriche più importanti e quindi più sfrutta-

te. Ciò dipende da vari fattori: oltre la buona permeabilità dei sedimenti alluvionali, sono fattori importanti la produttività delle falde idriche e la loro facile captazione, con pozzi generalmente poco profondi ed ubicati nelle zone stesse di utilizzazione.

Alla stessa categoria di rocce permeabili per porosità appartengono i sedimenti marini del Pliocene (sabbie e conglomerati), e quelli fluviolacustri dei bacini intermontani. Questi depositi hanno generalmente una permeabilità minore, rispetto a quella dei sedimenti alluvionali, in quanto contengono generalmente una consistente frazione fine (limo ed argilla). Inoltre questi sedimenti presentano spesso un continuità spaziale minore, che impedisce la formazione di falde estese e consistenti e, in alcuni casi, in particolare per i depositi marini del Pliocene, l'acqua non è di buona qualità per la presenza di cloruri e solfati.

Questi acquiferi minori sono sfruttati localmente per i diversi usi tra cui anche quello potabile.

4.2 ACQUIFERI PER FRATTURE

Una seconda categoria di acquiferi è quella di rocce consolidate, solitamente di età anteriore al Miocene, nelle quali l'acqua circola in corrispondenza di una rete di discontinuità formatesi successivamente al consolidamento della roccia: in genere si tratta di fratture, originate da movimenti tettonici o da processi di alterazione; nel caso delle rocce carbonatiche può risultare importante la rete di canali carsici, che si forma in seguito alla cor-

rosione della roccia stessa da parte delle acque circolanti.

Le formazioni geologiche permeabili per fratturazione possono essere riunite in tre gruppi in base alla diversa permeabilità media e all'importanza delle falde che contengono.

Gli acquiferi migliori sono le formazioni carbonatiche mesozoiche: si tratta di rocce calcaree o dolomitiche, senza interstrati argillosi o marnosi, nelle quali la carsificazione ha prodotto talvolta una rete di canali di grandi dimensioni (anche grotte esplorabili), in cui l'acqua si muove con velocità dello stesso ordine di grandezza di quella della rete idrica superficiale.

Queste formazioni sono poco estese nel bacino dell'Arno. In Val d'Elsa è il Calcare Cavernoso che ha una elevata permeabilità e che contiene notevoli quantità di acqua; tuttavia l'elevata durezza e il tenore in solfati la rendono inadatta all'uso potabile, salvo processi di addolcimento o miscelamento con acqua meno dura, quale quella delle sorgenti del Monte Amiata, come viene fatto, ad esempio, per l'acquedotto di Siena. Il Calcare Cavernoso del Monte Maggio e del Poggio del Comune, nell'alta valle dell'Elsa, è la roccia serbatoio dell'acqua che emerge alla sorgente Vene degli Onci (portata media di 0,9 mc/s); anche se la sorgente è ubicata in corrispondenza delle sabbie del Pliocene, il suo chimismo a solfato di calcio e magnesio indica che l'acqua risale, attraverso una faglia, dal substrato di Calcare Cavernoso.

Acquiferi per fratture di minore importanza sono alcune formazioni arenacee della Successione Toscana, in particolare il Macigno di età Oligocene-Miocene: alcuni pozzi perforati nel Pratomagno, sul versante del Valdarno Superiore, e nel Monte Albano, fra Carmignano e Serravalle Pistoiese, hanno fornito portate fino a 15 litri al secondo.

Durante lo scavo delle gallerie per la linea ferroviaria ad alta velocità Bologna - Firenze, sono state intercettate delle fratture aperte a direzione appenninica (NW-SE) nella Formazione Marnoso-arenacea della dorsale del Giogo, con flussi idrici fino a 100 l/s, in seguito diminuiti per l'abbassamento del livello piezometrico. Quindi, anche questa formazione, ritenuta a bassa permeabilità, può diventare un acquifero interessante se ci sono le condizioni strutturali favorevoli.

Di minore importanza, rispetto agli acquiferi carbonatici mesozoici, sono quelli delle formazioni calcareo-marnose delle Unità Liguri, quali la Formazione di Monte Morello che affiora abbastanza estesamente nei dintorni di Firenze: nelle zone con poche marne ed argilliti, ed in corrispondenza delle faglie e fratture, i pozzi possono dare portate di qualche litro al secondo.

Gli acquiferi nei mezzi fessurati sono meno utilizzati di quelli alluvionali, per una serie di motivi:

- localizzazione meno comoda (aree collinari o montane, spesso lontane dalle aree di maggiore richiesta);
- difficoltà di ubicazione dei pozzi (contrariamente a quanto avviene nei depositi alluviona-

li, nelle rocce permeabili per fratture ci sono notevoli differenze di portata in pozzi anche vicini, in conseguenza della notevole anisotropia delle rocce acquifere);

- qualche volta acqua di qualità chimica scadente.

In conclusione, le falde idriche delle pianure alluvionali rappresentano la risorsa idrica di sottosuolo di gran lunga più importante nel bacino dell'Arno; ma è anche quella più sfruttata e più esposta all'inquinamento, sia per la elevata vulnerabilità intrinseca (le falde sono in genere a piccola profondità, scarsamente protette dal terreno sovrastante), che per la presenza diffusa di fonti di inquinamento potenziale. Le pianure alluvionali del bacino dell'Arno sono ormai delle aree urbanizzate, quasi senza soluzione di continuità. Per conseguenza alcune falde soffrono di sovrasfruttamento, con problemi di approvvigionamento idrico nei periodi di siccità, e molte presentano ormai un inquinamento diffuso.

5. BILANCI IDRICI

Il bilancio idrico è il confronto delle risorse idriche, di superficie e sotterranee, disponibili in un bacino con i consumi e le necessità per i diversi usi.

Di seguito si sono confrontati i prelievi d'acqua per i diversi usi con le risorse idriche disponibili, con lo scopo di individuare le eventuali situazioni di squilibrio e la risorsa residua.

Per le acque fluenti, i bilanci idrologici redatti hanno fornito dei valori piuttosto attendibili della risorsa disponibile, mentre alcune incertezze riguardano gli attingimenti e i prelievi.

Per le acque sotterranee, al momento attuale si dispone solo di dati parziali ed incerti, soprattutto riguardo gli emungimenti.

La situazione è diversa se confrontiamo i prelievi con le portate minime "naturali" (tabella 27).



Foto 8 - Vista dell'Arno a Firenze

5.1 RISORSE IDRICHE FLUENTI

I bilanci idrologici medi annui di tutti i bacini studiati, sia quelli per i quali le misure di portata disponibili hanno consentito la redazione di un bilancio piuttosto preciso (bacini della serie A) sia quelli per i quali i bilanci sono stati ricostruiti in base ai dati climatici e alle caratteristiche fisiografiche (bacini della serie B), indicano che i deflussi sono complessivamente molto superiori ai prelievi totali annui.

Questo è ancora vero se si scende ai bilanci medi mensili: anche le portate medie dei mesi estivi, nei quali i deflussi si riducono notevolmente in relazione al regime delle piogge e alla scarsa permeabilità media delle rocce, sono superiori ai prelievi al netto delle restituzioni, almeno se consideriamo i prelievi assentiti.

Tabella 27 - Portate minime dei (corsi d'acqua) e confronto con i prelievi e gli scarichi. In corrispondenza di sezioni idrometriche ed al livello di bacino

	Q _{7,10} naturali	Scarichi	Prelievi netti	Q _{7,10} in alveo	Q _{7,10} naturali + scarichi
A - Canale Maestro della Chiana	1,037	0,169	1,124	0,082	1,206
B - Arno a Subbiano	1,278	0,109	1,031	0,376	1,387
C - Arno a Stia	0,044	0,000	0,000	0,044	0,044
D - Sieve a Fomacina	1,353	0,333	1,280	0,370	1,686
E - Sieve a Bilancino	0,160	0,380	0,179	0,019	0,540
F - Bisenzio a Gamberame	1,006	0,150	0,923	0,233	1,156
G - Elsa a Castelfiorentino	0,867	0,262	0,371	0,758	1,129
H - Bisenzio a Praticello	0,079	0,006	0,000	0,085	0,085
I - Nievole a Colonna	0,092	0,006	0,098	0,000	0,098
L - Arno a S. Giovanni alla Vena	7,178	9,217	12,713	3,682	16,395
M - Arno alla Nave di Rosano	4,733	2,225	4,859	2,099	6,958
N - Greve a Ponte dei Falciani	0,052	0,030	0,082	0,000	0,082
O - Pesa a Sambuca	0,058	0,004	0,054	0,008	0,062
P - Era a Capannoli	0,093	0,000	0,106	0,012	0,093
Q - Vincio a Cireglio	0,001	0,000	0,000	0,001	0,001

	Q _{7,10} naturali	Scarichi	Prelievi netti	Q _{7,10} in alveo	Q _{7,10} naturali + scarichi
1 - Bientina (Canale Navareccio)	0,249	0,112	0,301	0,060	0,361
2 - Padule di Fucecchio (Usciana)	1,346	1,235	0,859	1,722	2,581
3 - Ombrone	0,683	1,796	1,505	0,974	2,479
4 - Bisenzio	1,118	0,467	1,461	0,124	1,585
5 - Sieve	1,331	0,333	1,450	0,214	1,664
6 - Mugnone	0,045	0,009	0,022	0,032	0,054
7 - Casentino (Arno)	1,585	0,122	0,937	0,770	1,707
8 - Chiana	1,074	0,581	1,155	0,500	1,655
9 - Valdarno Superiore	1,580	1,189	1,996	0,773	2,769
10 - Greve	0,110	0,237	0,150	0,197	0,347
11 - Pesa	0,146	0,085	0,099	0,132	0,231
12 - Orme	0,013	0,006	0,000	0,019	0,019
13 - Elsa	0,889	0,966	0,445	1,410	1,855
14 - Egola	0,074	0,009	0,108	-0,025	0,083
15 - Era	0,288	0,092	0,153	0,227	0,380
16 - Tora	0,061	0,021	0,013	0,069	0,082

Nella tabella non sono stati inseriti i bacini del Fiume Morto e della Pianura di Pisa, perché non hanno un solo corso d'acqua a cui riferire i prelievi e gli scarichi.

Dei dati della tabella 27 sono ovviamente più validi quelli relativi alle 15 sezioni idrografiche che non quelli dei 18 bacini: i primi derivano da misure di portata effettive, mentre i secondi sono il risultato di estrapolazioni. Fra questi ultimi, però, i bacini dell'Arno casentinese, della Sieve e dell'Elsa sono chiusi poco a valle di stazioni idrometriche, per cui i loro dati possono essere considerati piuttosto affidabili.

Analizzando i dati della tabella, vediamo che solo per l'Elsa le concessioni di prelievo sono nettamente inferiori alle portate minime naturali e quindi potrebbero essere date altre concessioni senza rischiare di fare scendere il corso d'acqua sotto il deflusso minimo vitale.

I prelievi superano le portate minime settimanali con tempo di ritorno 10 anni nei seguenti casi:

Sezioni idrografiche:

- Canale Maestro della Chiana
- Sieve al Ponte di Bilancino
- Nievole a Colonna
- Arno a S. Giovanni alla Vena
- Greve al Ponte dei Falciani

Bacini idrografici:

- Bientina
- Ombrone
- Bisenzio
- Sieve

- Chiana
- Valdarno Superiore
- Greve
- Egola

Per i seguenti tratti fluviali i prelievi sono resi appena possibili dagli scarichi:

- Canale Maestro della Chiana, fino al ponte F.S.
- Nievole a Colonna
- Sieve
- Pesa a Sambuca
- Greve fino al Ponte dei Falciani
- Era a Capannoli
- Canale Emissario di Bientina
- Bisenzio
- Egola

A questi possiamo aggiungere l'Ombrone, anche se i prelievi (1,505 mc/s) sono nettamente inferiori alla somma delle portate minime $Q_{7,10}$ e degli scarichi (2,479 mc/s), perché gli scarichi sono essenzialmente quelli di Prato, che avvengono poco a monte della confluenza in Arno: a valle del campo pozzi dell'acquedotto di Pistoia, che in maggior parte attingono acqua dal subalveo dell'Ombrone, le portate di magra effettive sono veramente basse.

Queste aste sono state evidenziate nella Tav. 4. Ovviamente il bilancio è stato fatto alla chiusura dei bacini, per cui non è detto che la situazione sia la stessa in tutto il tratto fluviale.

Comunque i numeri suggeriscono che in questi tratti i prelievi assentiti sono al limite

delle portate di magra e che non debbano essere concessi ulteriori prelievi. Si consideri anche che le restituzioni delle acque derivate sono considerate contestuali alle derivazioni stesse: se invece avvengono più a valle del punto di derivazione, nel tratto compreso viene a mancare anche la portata corrispondente.

Si ribadisce che le considerazioni qui riportate si basano sull'ipotesi che le concessioni di prelievo vengano sfruttate secondo i criteri definiti al par. 3.2.1. E' probabile che i prelievi effettivi siano minori, ma questo non cambierebbe i rapporti quantitativi fra le portate fluenti e i prelievi assentiti.

5.2 RISORSE IDRICHE SOTTERRANEE

La redazione del bilancio idrico delle acque sotterranee è molto più complessa di quello delle acque superficiali, anche dal punto di vista concettuale: per le acque superficiali è sufficiente confrontare i prelievi con i deflussi naturali, per quelle sotterranee occorre confrontare i prelievi con le riserve sfruttabili, la cui entità, oltre che molto più difficile da calcolare, è anche variabile nel tempo in relazione a fattori che non sono solo quelli climatici.

Nel cap. 3 sono stati calcolati i deflussi di base medi annui dei corsi d'acqua, con lo scopo di valutare le risorse idriche sotterranee dei vari bacini. In realtà l'equazione *deflusso di base = risorse idriche sotterranee* è valida solo per un bacino idrografico in cui non ci siano pozzi di emungimento: in questo caso il deflusso di base medio annuo corrisponde alla portata complessiva delle sorgenti, comprese

quelle in subalveo, ovvero alla ricarica media annua delle riserve idriche sotterranee. In pratica queste risorse sono captate all'emergenza oppure vanno a far parte delle acque fluenti: l'infiltrazione nel sottosuolo ha solo il risultato di ritardare il deflusso.

La presenza di pozzi altera questo equilibrio naturale, particolarmente nelle aree di pianura, dove l'abbassamento della superficie freatica per effetto dei pompaggi determina l'inversione dei normali rapporti fiume - falda: parte dell'acqua fluente s'infiltra nel subalveo e tende a compensare quella estratta. Se i pompaggi non superano la ricarica, quella naturale e quella così indotta, si raggiunge un nuovo equilibrio ad un livello più alto di risorse sotterranee sfruttabili.

5.2.1 Prelievi di acque sotterranee

Una prima valutazione delle risorse idriche di sottosuolo può venire dal calcolo delle portate estratte dai pozzi nei singoli bacini. Attualmente queste portate possono essere calcolate solo in maniera approssimativa, sulla base dei seguenti studi eseguiti per l'Autorità di Bacino del Fiume Arno:

- *Studio specifico delle risorse idriche degli acquedotti del Bacino dell'Arno*, eseguito dal geol. P. Barsanti (1997).
- *Bacino idrografico del Fiume Arno: Studio per il bilancio idrico del bacino, censimento dei prelievi delle acque sotterranee*, eseguito dallo Studio Associato Geotecnico (1998).

I dati sono stati aggregati per bacino nelle tabelle 28 e 29.

tabella 28 - Numero di pozzi per bacino idrografico

	inut.	dom.	irrig.	indus.	acqu.	serv.	zoot.	non spec.	totale
1 - Bientina	30	10039	769	1212	43	607	8	26	12734
2 - Padule di Fucecchio	1	9701	2228	231	123	209	20	20	12533
3 - Ombrone	6	13001	2621	1464	180	386	15	7	17680
4 - Bisenzio	303	1298	671	387	93	72	3	61	2888
5 - Sieve	344	1024	570	44	128	34	2	44	2190
6 - Mugnone	391,1	1296	876	165,15	3	59	1	85	2979
9 - Casentino	427	2803	570	54	117	161	1	0	4133
7 - Chiana	2915	19226	2005	280	78	436	60	13	25013
8 - Valdarno Superiore	1381	7503	1913	170	172	373	1	35	11548
9 - Greve	433	1544	1292	106	32	38	2	82	3529
10 - Pesa	275	742	409	51	60	41	4	36	1618
11 - Orme	77,6	722,8	215,6	38,2	2	22,6	1	4,8	1084
12- Elsa	796	4324	807	276	35	205	21	49	6513
13 - Egola	26	43	40	0	1	0	1	0	111
14 - Era	0	1526	177	31	12	90	2	0	1838
15 - Tora	0	913,1	77	12,3	4	26,3	0,6	3	1034
16 - Fiume Morto	0	2371	130	33	9	80	0	5	2628
17 - Massaciuccoli	164	3785	876	35	7	506	14	21	5408
18 - Pianura di Pisa	0	8217,9	693	110,7	16	236,7	5,4	27	9303

tabella 29 - Prelievi di acqua dal sottosuolo (milioni di mc/anno)

	dom.	irrig.	indus.	acqu.	serv.	zoot.	non spec.	totale
1 - Bientina	3,614	0,538	1,309	23,589	0,219	0,006	0,009	29,284
2 - Padule di Fucecchio	3,492	1,560	0,249	10,596	0,075	0,015	0,007	15,995
3 - Ombrone	4,680	1,835	1,581	20,971	0,139	0,011	0,003	29,220
4 - Bisenzio	0,467	0,470	0,418	7,789	0,026	0,002	0,022	9,195
5 - Sieve	0,369	0,399	0,048	7,379	0,012	0,001	0,016	8,224
6 - Mugnone	0,467	0,613	0,178	0,631	0,021	0,001	0,031	1,942
9 - Casentino	1,009	0,399	0,058	6,465	0,058	0,001	0,000	7,990
7 - Chiana	6,921	1,404	0,302	7,348	0,157	0,044	0,005	16,181
8 - Valdarno Superiore	2,701	1,339	0,184	12,772	0,134	0,001	0,013	17,144
9 - Greve	0,556	0,904	0,114	4,131	0,014	0,001	0,030	5,751
10 - Pesa	0,267	0,286	0,055	6,213	0,015	0,003	0,013	6,852
11 - Orme	0,260	0,151	0,041	1,419	0,008	0,001	0,002	1,882
12- Elsa	1,557	0,565	0,298	8,357	0,074	0,015	0,018	10,884
13 - Egola	0,015	0,028	0,000	0,032	0,000	0,001	0,000	0,076
14 - Era	0,549	0,124	0,033	2,681	0,032	0,001	0,000	3,421
15 - Tora	0,329	0,054	0,013	3,154	0,009	0,001	0,001	3,561
16 - Fiume Morto	0,854	0,091	0,036	8,641	0,029	0,000	0,002	9,652
17 - Massaciuccoli	1,363	1,261	0,038	5,992	0,182	0,010	0,008	8,854
18 - Pianura di Pisa	2,958	0,485	0,120	12,236	0,085	0,004	0,010	15,898

I numeri relativi ai pozzi degli acquedotti pubblici sono ripresi dallo studio di Barsanti, che riporta i risultati dell'indagine condotta presso gli enti acquedottistici, per cui si presume che siano abbastanza precisi.

Per i pozzi privati sono stati utilizzati i risultati dello studio della Geotecno, che contiene l'elaborazione dei dati disponibili presso gli uffici dei Geni Civili della Regione Toscana, in particolare le pratiche di concessione delle acque sotterranee e le autod denunce dei pozzi in ottemperanza al D.lgs 12/7/93 n.275 e successivi procedimenti legislativi. Questi dati sono approssimativi per le

seguenti ragioni:

1. le denunce non riguardano tutti i pozzi privati esistenti: una parte difficilmente valutabile, diversa da zona a zona ma certamente non trascurabile, non è stata denunciata;
2. i volumi di acqua estratti non sono sempre denunciati (non tutti i Geni Civili lo hanno richiesto) e, quando lo sono stati, sono poco attendibili; questo perché non sono noti neppure ai proprietari o perché questi temono di dovere pagare in futuro una tassa proporzionale ai consumi.

La scarsa attendibilità dei volumi denun-

ciati ha indotto la Geotecno a fare una valutazione dei prelievi medi per ogni tipologia d'uso dei pozzi. Sono queste valutazioni che sono state utilizzate per la Tabella 29.

Nei paragrafi successivi sono riportati i bilanci idrici di alcuni acquiferi montani e di una buona parte degli acquiferi di pianura del bacino dell'Arno.

5.2.2 Gli acquiferi montani

Lo sfruttamento delle falde idriche contenute negli acquiferi montani e collinari avviene principalmente con la captazione delle sorgenti, mentre i pozzi sono pochi e forniscono solo una piccola parte dell'acqua utilizzata.

Per alcune aree si dispone di misure delle portate delle sorgenti abbastanza complete da fornire il totale delle emergenze. In particolare sono state misurate-calcolate le portate totali delle sorgenti delle seguenti unità geografico-geologiche.

1. **I Monti della Calvana** (Formazione di Monte Morello) (Cicali e Pranzini, 1987);
2. Il versante meridionale del **Pratomagno** (Arenarie del Pratomagno) (Pranzini, 1992);
3. **I Monti Pistoiesi** (divisi in tre parti, corrispondenti alle aree di affioramento del Macigno, delle Arenarie di M. Modino, Arenarie di M. Cervarola) (Pranzini, 1992);
4. **I Bacini montani del Pescia di Pescia, del Pescia di Collodi e della Nievole** (Bucci, 1993).

Nel Quaderno n. 8 dell'Autorità di Bacino è stato riportato come esempio il bilancio del rilievo carbonatico dei Monti della Calvana. Nella Tabella 30 riportiamo solo la risorsa idrica sotterranea delle aree montane studiate, che corrisponde alla portata complessiva delle sorgenti.

Tabella 30 - Risorsa idriche di alcuni acquiferi montani.

Zona	Formazione geologica	Area Km ²	Risorsa idrica milioni di mc
Monti della Calvana	Formazione di M. Morello	62.49	3.90
Pratomagno	Arenarie del M. Falterona	168.46	3.05
Monti Pistoiesi	Macigno	34.15	0.77
Monti Pistoiesi	Arenarie di M. Modino	18.25	0.59
Monti Pistoiesi	Arenarie di M. Cervarola	215.25	3.29
Bacino della Pescia di Pescia	Macigno prevalentemente	79.80	1.06
Bacino della Pescia di Collodi	Macigno prevalentemente	34.30	1.18
Bacino della Nievole	Macigno e Arenarie di M. Modino	41.30	0.76

Si osserva che la portata complessiva delle sorgenti non corrisponde all'infiltrazione efficace, ma solo a quella parte che riemerge, in forma concentrata e misurabile, alle sorgenti propriamente dette. Parte dell'acqua d'infiltrazione torna in superficie in forma diffusa, non misurabile, oppure in maniera occulta nell'alveo dei corsi d'acqua. Pertanto si tratta di una risorsa non utilizzabile direttamente ma solo dopo che è confluita nel reticolo idrografico.

Questa parte è tanto più piccola quanto maggiore è la permeabilità delle rocce; infatti, nelle formazioni geologiche più permeabili i percorsi idrici nel sottosuolo tendono a gerarchizzarsi e quasi tutta l'acqua si concentra in poche sorgenti di elevata portata. Al contrario, nelle formazioni meno permeabili l'acqua che s'infiltra riemerge in forma più diffusa e quindi il quantitativo che riemerge come sorgente vera e propria è meno rilevante (Pranzini, 1992).

Per i calcari dei Monti della Calvana è stato calcolato che quest'acqua non misurabile è circa due volte quella delle sorgenti, per cui il totale della risorsa annua rinnovabile è di 12,9 milioni di mc (Cicali e Pranzini, 1987).

Per tutti gli acquiferi montani il bilancio idrico è certamente positivo, nel senso che i volumi sfruttati non superano la ricarica media stagionale.

Ulteriori risorse potrebbero risultare da:

1. la captazione di sorgenti attualmente inutilizzate;

2. la perforazione di pozzi.

Per il primo punto bisogna considerare che le sorgenti maggiori sono quasi tutte già sfruttate e che l'eventuale captazione andrebbe ad incidere sui deflussi di magra dei corsi d'acqua, molti dei quali sono già al limite del minimo deflusso vitale se non al di sotto.

Per quanto riguarda i pozzi, in alcune aree consentirebbero di ottenere buone portate senza creare squilibri idrogeologici. Acquiferi ancora sfruttabili sono i calcari della Montagnola Senese e le arenarie di alcune zone dell'Appennino, dove la permeabilità è maggiore per il consistente stato di fratturazione e dove la situazione strutturale è favorevole.

Naturalmente l'utilizzo di queste risorse idriche dovrebbe essere preceduto da un approfondito studio idrogeologico, sia per la localizzazione ottimale dei pozzi che per la valutazione delle riserve sfruttabili nonché da un'analisi costi-benefici.

5.2.3 Gli acquiferi delle pianure

Come si è detto al cap. 4, le falde idriche principali si trovano nei sedimenti alluvionali delle pianure, che, conseguentemente, sono quelle più sfruttate. Per queste falde è quindi importante la redazione dei bilanci idrici, per individuare i casi di sovrasfruttamento e provvedere con interventi normativi e strutturali al riequilibrio. Tali bilanci sono però difficili da redigere con la precisione necessaria. A parte l'attendibilità dei volumi di acqua prelevati dalle falde, per la redazione del bilancio idrico degli acquiferi sotterranei occorre anche il calcolo della ricarica media annua, che può essere fatto solo con studi complessi. L'infiltrazione

dell'acqua meteorica può essere calcolata, sia pure in maniera approssimativa, sulla base delle caratteristiche di permeabilità dei terreni; ma, come si è detto, l'alimentazione delle falde di pianura avviene anche, e in molte zone principalmente, dall'infiltrazione dai corsi d'acqua, che può essere calcolata con la precisione necessaria per un bilancio solo tramite la registrazione continua della portata in sezioni fluviali successive.

Attualmente il bilancio idrogeologico è stato redatto per i seguenti acquiferi di pianura del bacino dell'Arno:

1. **Pianura di Lucca**

(Nardi, Nollè e Rossi, 1987, rielaborato da Nollè e Sani nel 1998, sulla base degli aggiornamenti relativi al censimento dei prelievi, in occasione della predisposizione della Carta della Vulnerabilità della pianura per incarico dell'Amministrazione Provinciale di Lucca)

2. **Falda del conoide di Prato**
(Landini e Pranzini, 1991)

3. **Pianura di Pistoia**
(Capecchi e Pranzini, 1996)

4. **Pianura della Valdinievole**
(Capecchi e Pranzini, 1996)

5. **Pianura di Pisa**
(Baldacci, 1996)

6. **Pianura alluvionale della Sieve,**

da S. Piero a Vicchio (Pranzini, 2001).

7. **Valdarno Superiore,**
da Incisa fino al limite con la provincia di Arezzo (Pranzini, 2001).

8. **Valdarno Superiore,**
bacino di Rignano (Pranzini, 2001).

9. **Pianura fiorentina,**
estesa alla parte di pianura del Medio Valdarno compresa nella provincia di Firenze (Pranzini, 2001).

10. **Pianura di Empoli-Fucecchio**
(Pranzini, 2001).

Questi bilanci, che sono riportati sinteticamente nei paragrafi seguenti, consentono di fare delle valutazioni, più o meno corrette, sulle risorse idriche di sottosuolo nelle diverse pianure alluvionali, ma non sono sufficientemente precisi da mettere in evidenza le eventuali situazioni di squilibrio fra i prelievi e la ricarica. Il bilancio della falda pratese (Landini e Pranzini, 1991) ha queste caratteristiche, ma si riferisce al 1988 perciò andrebbe aggiornato.

Indicazioni più valide su eventuali situazioni di squilibrio possono emergere dall'andamento dei livelli piezometrici: là dove il livello medio di falda tende a scendere negli anni è evidente che c'è una situazione di sovrasfruttamento.

Invece, la presenza di una depressione anche forte della superficie piezometrica non significa necessariamente uno squilibrio fra i

pompaggi e la ricarica: se tale depressione risulta stabile nel tempo, oppure si accentua nel periodo estivo e si ripristina in quello invernale, mantenendo mediamente la stessa profondità e la stessa estensione, possiamo ritenere che sia stato raggiunto un equilibrio dinamico fra la ricarica e i prelievi. Come vedremo più avanti, questa è la situazione di molti campi pozzi situati in prossimità dei corsi d'acqua, dove la depressione del livello freatico richiama acqua dal subalveo fluviale (ricarica indotta).

Nelle pagine seguenti si riportano in forma sintetica i dati di conoscenza sullo stato di sfruttamento delle risorse sotterranee delle pianure alluvionali del bacino dell'Arno, con una sintesi dei bilanci idrici, ove redatti. Questi dati sono in parte contenuti nello studio eseguito dai Dipartimenti di Scienze della Terra delle Università di Firenze e di Pisa per l'Auto-rità di Bacino sugli acquiferi delle pianure alluvionali dell'Arno (1996), dal quale sono state riprese anche delle ricostruzioni piezometriche. Alcuni di questi bilanci sono già contenuti nel Quaderno n. 8 del Bacino dell'Arno - *Piano del Bacino del Fiume Arno. Qualità delle acque*; per la completezza del quadro sono stati inseriti anche in questo Quaderno.

IL CASENTINO

I depositi fluviolacustri e quelli alluvionali recenti contengono una falda idrica di tipo freatico, ovvero la tavola d'acqua si trova in corrispondenza delle stesse ghiaie acquifere.

I pozzi sono generalmente poco profondi: difficilmente superano i 20 metri, in relazione al fatto che in profondità prevalgono i sedimenti impermeabili (argille e limi).

Ci sono 11 pozzi dell'acquedotto comunale di Bibbiena, di cui 9 raggruppati in due campi pozzi presso il capoluogo, alla confluenza del T. Archiano con l'Arno: la loro portata complessiva media è intorno a 75 l/s. I pozzi forniscono l'80% dell'acqua distribuita dall'acquedotto comunale, il resto proviene dalle sorgenti.

Gli acquedotti di Pratovecchio e Stia utilizzano esclusivamente acque di sorgenti. Castel San Niccolò ha un solo pozzo, la cui portata è 1,3 l/s.

Altri pozzi sono per uso domestico o per l'irrigazione, alcuni sono utilizzati dalle piccole industrie, soprattutto di produzione di materiali per l'edilizia.

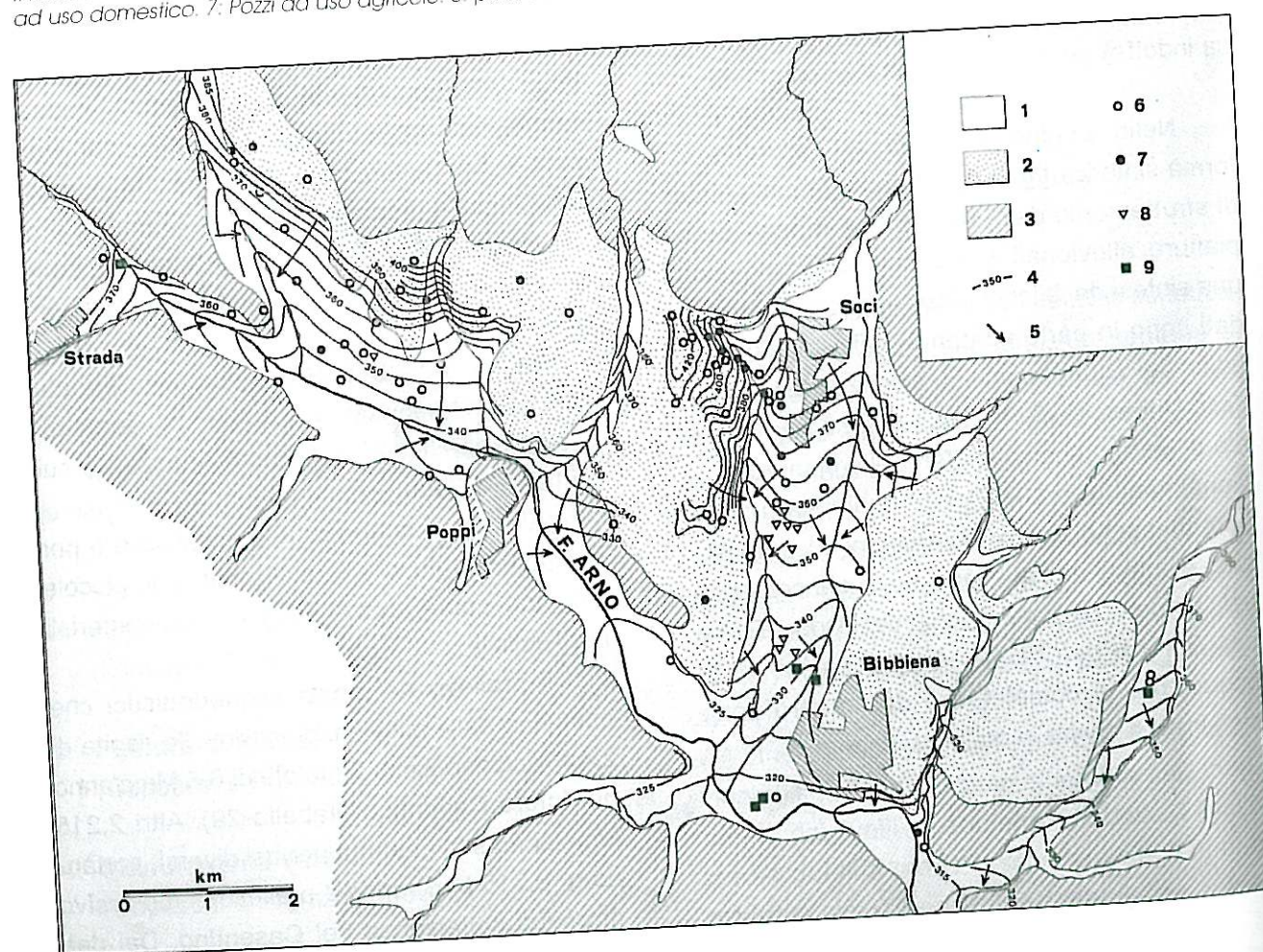
Il prelievo dei pozzi acquedottistici che attingono dalle alluvioni di fondovalle risulta di 2,4 Mmc/anno, contro il totale di 6,5 Mmc/anno dell'intero Casentino (Tabella 29). Altri 2,215 Mmc/anno sono estratti per usi diversi, portando a 8,715 Mmc/anno il prelievo complessivo di acqua sotterranea nel Casentino. Dai dati disponibili non è possibile separare il contributo delle falde alluvionali da quello dei pozzi in roccia.

Una ricostruzione della superficie freatica

eseguita nel Settembre 1994 (Fig. 14, da Tarchi, 1998) mostra che la superficie freatica nei depositi alluvionali si trova ad una quota superiore a quella dei corsi d'acqua e quindi le

acque di sottosuolo fluiscono verso i corsi stessi. Questa situazione suggerisce che non ci sono situazioni di sovrasfruttamento della falda.

Fig. 14 - Isofreatiche nei depositi alluvionali recenti del Casentino (da Tarchi, 1998). 1: Depositi alluvionali recenti. 2: Depositi fluviolacustri. 3: Rocce prelacustri. 4: isofreatiche, m s.l.m., misure del Settembre 1994. 5: linee di flusso della falda. 6: Pozzi ad uso domestico. 7: Pozzi ad uso agricolo. 8: pozzi ad uso industriale. 9: Campi pozzi degli acquedotti civili.



LA VALDICHIANA

Le falde rappresentano una fonte di approvvigionamento importante, non solo per le attività agricole e zootecniche ma anche per l'uso potabile: infatti molti dei centri abitati minori hanno acquedotti riforniti da pozzi perforati in loro prossimità; inoltre sono ancora molte le zone prive di acquedotto pubblico, nelle quali l'acqua dei pozzi domestici è utilizzata anche per uso potabile.

La situazione idrogeologica del bacino è piuttosto complessa. Nei depositi alluvionali recenti e in quelli fluviolacustri quaternari si trova una falda freatica di scarsa produttività, per la bassa permeabilità dei terreni, che si accentua nel periodo estivo in relazione all'aumento dei consumi e alla riduzione dell'alimentazione. Altre falde, di tipo confinato, si trovano a varia profondità nelle sabbie plioceniche.

Spesso i pozzi attingono da più falde, senza che si conosca il contributo di ciascuna. In questa situazione è quasi impossibile redigere un bilancio valido.

Mentre la falda freatica non risulta in abbassamento (Scortecci, 1997; Adessi, 1998), l'alta densità di pozzi privati nelle zone più abitate ha portato ad un progressivo abbassamento del livello piezometrico degli acquiferi confinati. Peraltro, la mancanza di studi specifici impedisce di segnalare le situazioni locali di sovrasfruttamento.

In sintesi, in Valdichiana sembra esserci una situazione di squilibrio fra i prelievi di acque sotterranee e la ricarica media annua, almeno per quanto riguarda gli acquiferi confinati che rappresentano la risorsa idrica sotter-

ranea più importante. Alla riduzione delle risorse potabili del comprensorio si aggiunge l'esteso inquinamento delle falde (nitrati, cloruri, solfati, ammoniaca, ferro e manganese). In considerazione di quanto sopra il progetto originario, redatto dall'Ente Irriguo Umbro che prevedeva l'utilizzo di parte delle acque provenienti dall'invaso di Montedoglio (realizzato in territorio toscano ma nel bacino del fiume Tevere), per l'irrigazione della Val di Chiana, è stato modificato prevedendo che le stesse vengano usate a scopo idropotabile per diversi acquedotti della valle.



Foto 9 - Canale maestro della Chiana - Chiasso dei Monaci

LA PIANURA DI AREZZO

Nella pianura di Arezzo esiste una falda superficiale freatica attestata nelle alluvioni recenti in genere scarsamente produttiva. Il principale livello acquifero è costituito dai Ciotoli del Maspino, sfruttato da pozzi profondi mediamente 2530 m. Questo livello acquifero presenta nell'area di Quarata una buona produttività idrica (portate di 510 l/s).

La Fig. 15 mostra la piezometria della pianura aretina e della parte della Valdichiana appartenente al comune di Arezzo, ricostruita con misure del maggio 1986 (Pedone, 1994). Non si osservano aree con la superficie piezometrica depressa; tuttavia curve chiuse della

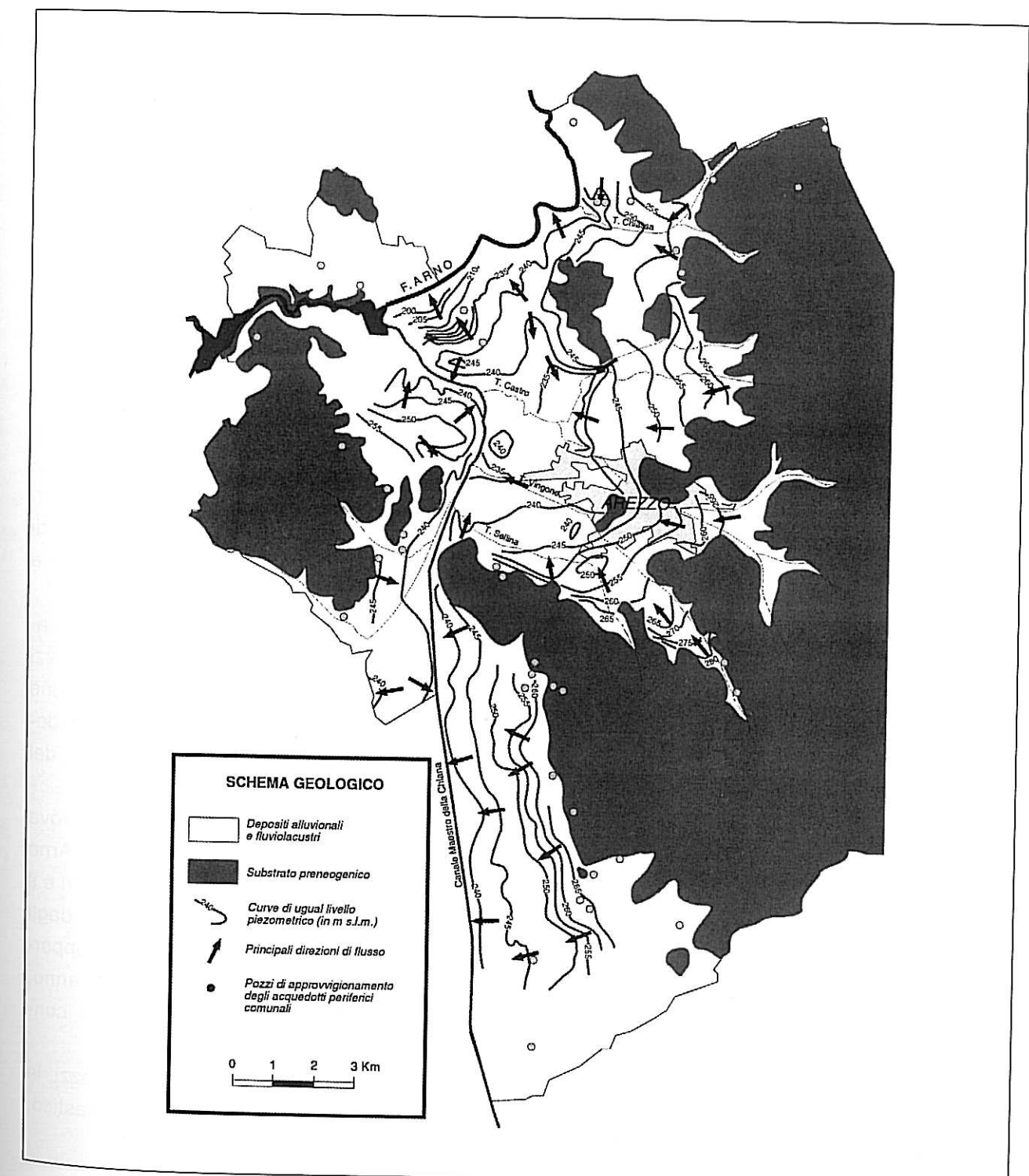
superficie piezometrica, riconducibili ad emungimenti concentrati, sono presenti nella periferia di Arezzo in corrispondenza di insediamenti produttivi. Il rilevamento della falda eseguito nel settembre dello stesso anno in condizioni di magra mostra un abbassamento generale della superficie piezometrica (mediamente compreso fra 1 e 5 m), anche se l'andamento del flusso sotterraneo non subisce particolari alterazioni. I coni di depressione sopra accennati risultano nel periodo di magra ancora più marcati.

L'approvvigionamento idrico del comune di Arezzo relativamente all'anno 1993 è riassumibile nella seguente tabella.

Tabella 31 - Fonti di approvvigionamento idropotabile del Comune di Arezzo.

	mc erogati	Portata media (l/s)	Valore percentuale
Pozzi	920.000	29	10,6 %
Sorgenti	30.000	1	0,3 %
Acque superficiali	7.750.000	246	89,1 %
TOTALE	8.700.000	276	100 %

Fig. 15 - Piezometria della falda nei depositi alluvionali della pianura di Arezzo e della Valdichiana aretina; misure del maggio 1986 (da Pedone, 1994).



La maggiore fonte di approvvigionamento, come si vede, è costituita dalle acque superficiali captate dall'Arno. I pozzi comunali, circa 40 dislocati in tutto il territorio comunale (v. Fig. 15), approvvigionano le frazioni comunali non servite dall'acquedotto urbano. La maggior parte di questi pozzi capta acque degli acquiferi rocciosi. Pozzi comunali che sfruttano gli acquiferi dei sedimenti alluvionali sono presenti soprattutto nella Valdichiana e nella pianura di Quarata.

La quantità di acqua estratta a fini idropotabili dalle falde sotterranee tramite pozzi è dell'ordine di un milione di metri cubi l'anno. Il quantitativo totale dell'acqua di falda estratto anche per gli altri usi non è noto, ma è comunque stimato diverse volte maggiore di quello per scopi acquedottistici. Se si considera infatti soltanto il numero di permessi per l'escavazione di pozzi rilasciati dall'Amministrazione Comunale nel periodo '79 - '94 si raggiunge il numero di circa 3.500 autorizzazioni. Considerando i pozzi preesistenti e quelli costruiti abusivamente si può stimare in circa 8.000/10.000 le captazioni presenti nel territorio comunale. La grande maggioranza dei pozzi privati è destinato ad un uso domestico per l'innaffiamento di orti o del verde privato, anche se non mancano gli usi per l'irrigazione in agricoltura o per le attività produttive.

I prelievi effettuati dai pozzi pubblici vengono a trovarsi spesso in competizione con quelli privati, anche perché i pozzi comunali vengono a ritrovarsi all'interno delle zone maggiormente sfruttate dai pozzi privati; ne consegue che nella stagione estiva sono molto fre-

quenti crisi legate alla scarsità di acqua.

Ad oggi la situazione è leggermente migliorata in quanto l'acquedotto di Arezzo città è parzialmente alimentato, tramite una condotta all'uopo realizzata, dalle acque superficiali provenienti dall'invaso di Montedoglio, per un quantitativo dell'ordine di 400 l/s.

IL VALDARNO SUPERIORE

La falda idrica contenuta nei depositi alluvionali del fondo valle costituisce la principale risorsa idrica del Valdarno Superiore. I depositi alluvionali formano una striscia della larghezza media di 1,5 km e sono costituiti nella maggior parte da ciottoli, ghiaie e sabbie, con poche lenti di limo; lo spessore massimo è di 15 metri (Francalanci e al., 1988; Gabbani e al., 1989).

I sedimenti alluvionali hanno una permeabilità medio-alta (10^{-3} - 10^{-4} m/s) ed i pozzi possono fornire 15 l/s ed anche più nelle zone di maggiore trasmissività: queste corrispondono ai paleoalvei collegati con l'alveo attuale del fiume.

La superficie della falda freatica si trova fra 2 e 8 m dal piano di campagna. L'Arno drena la falda in alcuni tratti, mentre in altri è il fiume che alimenta la falda, depressa dagli emungimenti (Fig. 16). In alcune zone i rapporti Arno-falda cambiano nel corso dell'anno, come conseguenza degli emungimenti concentrati nel periodo estivo-autunnale.

La falda è sfruttata da numerosi pozzi; la maggioranza è per uso agricolo o domestico, ma ci sono anche pozzi industriali.

Fig. 16 - Isofreatiche della pianura alluvionale del Valdarno Superiore (da Gabbani e al., 1995). Le linee sono le isofreatiche medie annue, con equidistanza 1 metro. Le frecce indicano il flusso della falda. I pallini con la croce sono i pozzi di captazione ad uso potabile, i pallini semplici sono i pozzi ad uso industriale o agricolo.

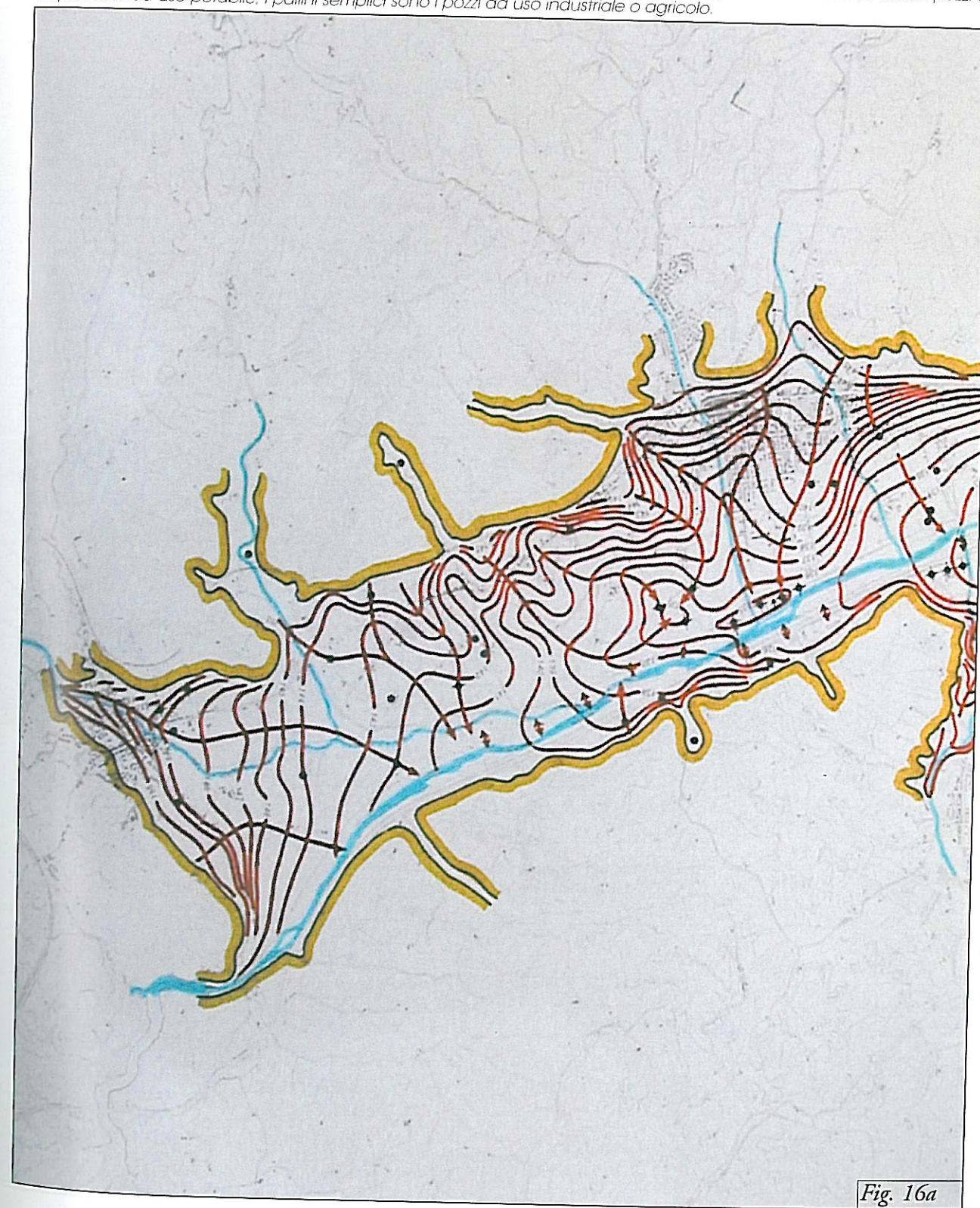


Fig. 16a

Fig. 16b

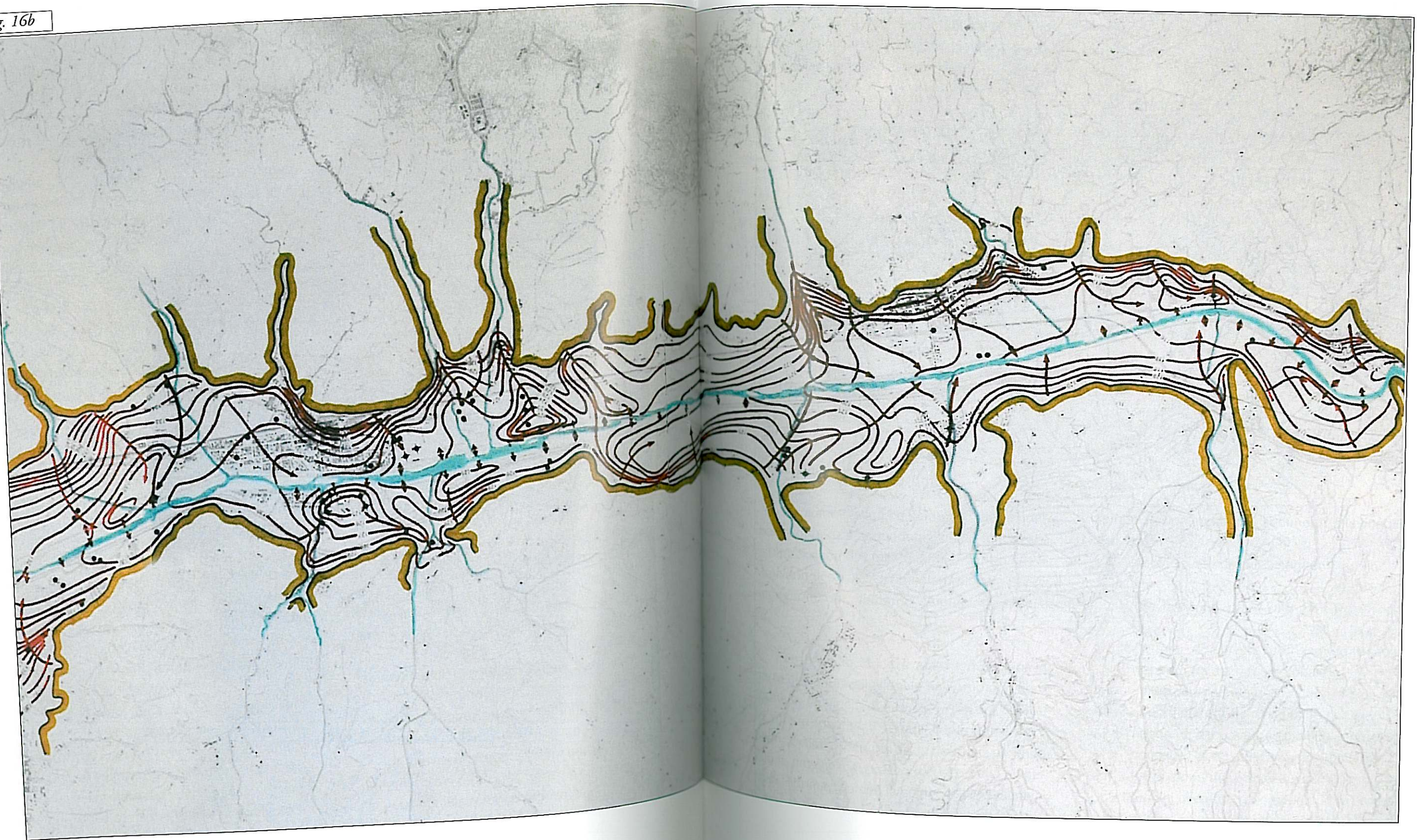
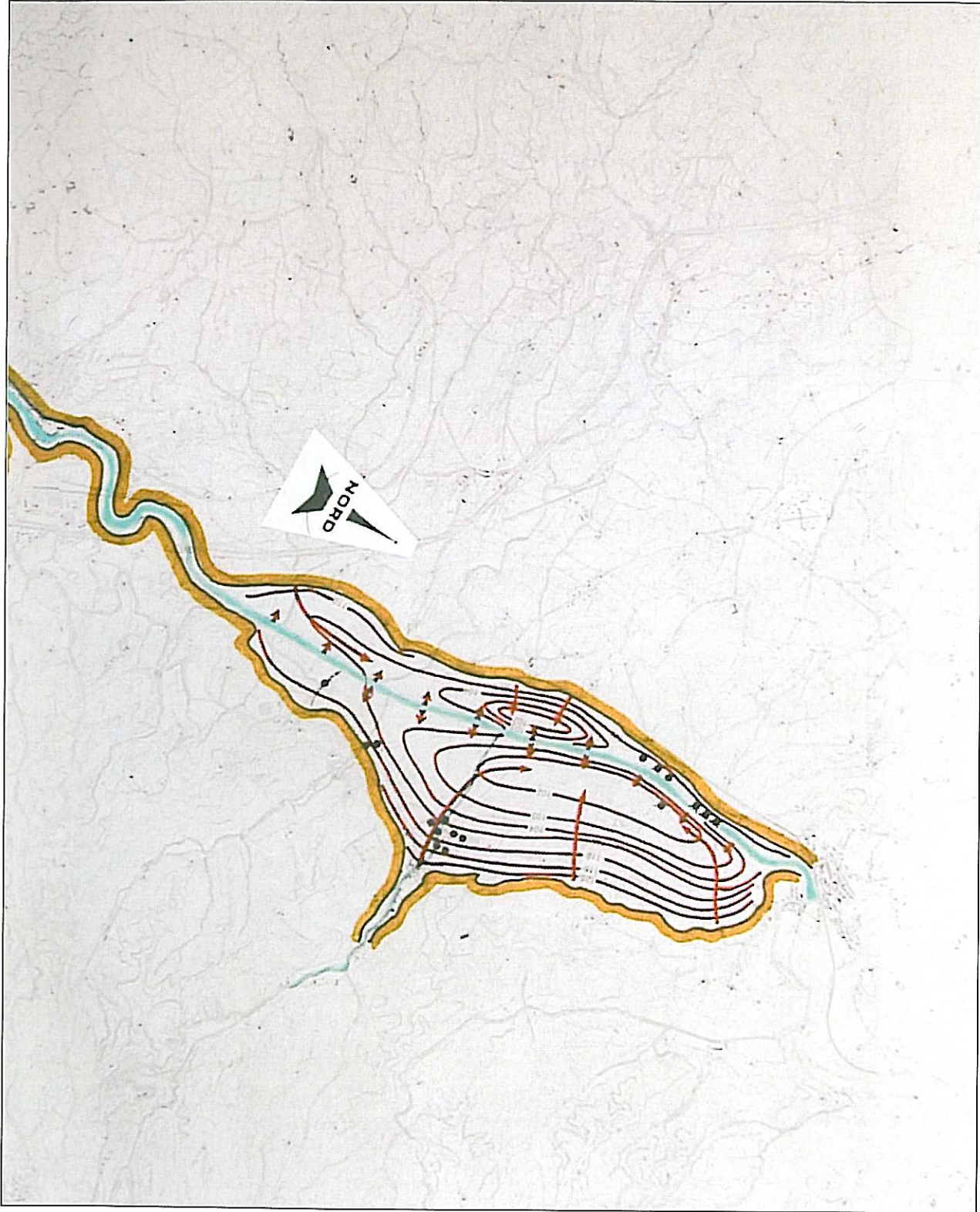


Fig. 16c



Per i pozzi degli acquedotti comunali ubicati nelle alluvioni di fondo valle, il quadro complessivo è nella Tabella 32.

Tabella 32 - Pozzi degli acquedotti del Valdarno Superiore che sfruttano la falda del materasso alluvionale dell'Arno.

COMUNE	N° POZZI	PORTATA TOTALE MEDIA (l/s)
Rignano (con Incisa)	5	10
Reggello	1	1,2
Incisa	2	5
Figline	6	16,3
San Giovanni	7	41
Terranuova Bracciolini	4	11
Montevarchi	6	20
Bucine (Levane)	15	16
Totale	46	120,5

Il volume d'acqua di falda estratto annualmente dai pozzi acquedottistici del fondovalle risulta di circa 3,8 milioni di mc, contro i 12,7 Mmc/anno complessivamente prelevato per gli acquedotti del Valdarno Superiore (Tabella 32).

Un bilancio idrico è stato tentato per la parte di pianura alluvionale dell'Arno che rientra nella provincia di Firenze (Pranzini, 2001). In realtà sono stati redatti separatamente il bilancio della pianura da Incisa fino al limite con la provincia di Arezzo e quello della pianura di Rignano, perché la soglia dell'Incisa inter-

rompe la continuità dei sedimenti alluvionali dell'Arno.

Il bilancio comprende i seguenti termini:

$Ia + Al + As + If = Ds + Df + Pr$

I termini di sinistra corrispondono agli apporti (Ia riserva stagionale):

- Ia = infiltrazione areale delle acque di pioggia
- As = apporti sotterranei dalle falde confinanti
- Al = apporti di acque superficiali dalle aree contigue, che s'infiltrano nella pianura
- If = infiltrazione dagli alvei fluviali

I termini di destra rappresentano le uscite:

Ds = deflusso sotterraneo verso le aree contigue
 Df = drenaggio da parte dei corsi d'acqua.
 Pr = prelievi dai pozzi

Per il calcolo dei prelievi dai pozzi sono stati usati i dati

- dell'Autorità di Bacino del F. Arno, per quanto riguarda numero, ubicazione e portate dei pozzi per acquedotti pubblici (Studio di Barsanti e Sani, 1997)
- dell'ufficio del Genio Civile di Firenze, per i pozzi privati.

Il Genio Civile di Firenze ha una banca dati con i pozzi denunciati ai sensi del D.L. 275 del 12.07.93. Solo quelli produttivi sono stati georeferenziati, mentre di tutti c'è il foglio catastale. Avendo georeferenziato i limiti di tutti i fogli catastali della provincia di Firenze, è stato possibile ubicare tutti i circa 35.000 pozzi denunciati al Genio Civile di Firenze.

Poiché i prelievi dei pozzi non acquedottistici non sono denunciati o sono inattendibili, sono state fatte delle valutazioni in base al tipo d'uso dei pozzi.

TIPOLOGIA D'USO	PRELIEVI PER OGNI POZZO mc/anno
Domestico ¹	183
Irriguo	1.000
Zootecnico	1.000
Industriale	700
Uso vario ²	100
Sconosciuto ³	vedi nota

¹ E' stato considerato un consumo medio giornaliero di 500 litri.

² Comprendono in massima parte pozzi usati per antincendio e autolavaggio.

³ E' stato assegnato il valore risultante dalla media pesata dei prelievi delle altre categorie per ogni comune

Il bilancio idrico è risultato il seguente:

Pianura	Area Kmq	Infiltrazione areale	Apporti laterali	Apporti sotterranei	Infiltrazione dagli alvei	Ricarica totale	Deflusso sotterraneo	Drenaggio dei fiumi	Prelievi totali	Prelievi acquedotti	Prelievi privati	Differenza Entrate - uscite Mmc/a
	Mmc/a	Mmc/a	Mmc/a	Mmc/a	Mmc/a	Mmc/a	o Mmc/a	Mmc/a	Mmc/a	Mmc/a	Mmc/a	
Figline-Incisa	3,93	0,645	0,390	0,300	2,690	4,025	0,000	0,000	0,270	0,200	0,070	3,755
Rignano	13,97	2,490	1,077	0,020	5,348	8,935	0,000	0,835	0,599	0,114	0,485	7,501

Come si vede, i due bilanci risultano ben lontani dal pareggio: la differenza positiva fra le entrate e le uscite risulta così elevata, in percentuale rispetto al totale delle entrate, da non potere dipendere solo dall'approssimazione con cui sono stati calcolati gli apporti né dalla eventuale errata valutazione dei prelievi unitari dei pozzi denunciati. Si deve concludere che la differenza dipende essenzialmente dalla valutazione per difetto dei prelievi e quindi che i pozzi denunciati al Genio Civile sono solo una parte di quelli effettivi.

Questa conclusione, che come vedremo più avanti è valida anche per gli altri bilanci redatti con lo stesso metodo (Pranzini, 2001), rende questi bilanci inutilizzabili per individuare l'eventuale stato di sovrasfruttamento degli acquiferi. La loro maggiore utilità sta proprio nell'accertamento di un diffuso abusivismo nello sfruttamento delle falde idriche.

Nel Valdarno Superiore, sappiamo che nel periodo della maggiore richiesta idrica la portata dei pozzi degli acquedotti pubblici si riduce notevolmente, tanto da creare problemi di approvvigionamento. Ciò dipende in parte dalla scarsa riserva idrica di sottosuolo, che si riduce nel periodo estivo (la falda registra una escursione stagionale media di quasi 2 m),

ma anche dal fatto che gli emungimenti privati sono spesso in concorrenza con quelli per gli acquedotti comunali: una serie di pozzi privati intercetta a monte il flusso di falda che alimenta alcuni campi pozzi degli acquedotti pubblici. E' il caso, in particolare, dei pozzi comunali di Montevarchi, di S.Giovanni e di Figline. Quindi siamo ben lontani dall'applicazione del principio che l'uso potabile deve prevalere sugli altri usi di un corpo acquifero (art. 2 della legge n.36/1994, "legge Galli").

Per concludere, nella pianura del Valdarno Superiore si individuano situazioni di sfruttamento intensivo della falda, che hanno creato depressioni permanenti della superficie freatica (Tav. 4). Tuttavia ciò non dovrebbe causare una progressiva riduzione delle riserve idriche, sia perché l'abbassamento del livello di falda porta automaticamente alla riduzione dei pompaggi, sia perché la ricarica stagionale e le infiltrazioni nel subalveo dell'Arno garantiscono la ricarica dell'acquifero nel periodo delle piogge.

In sostanza, le situazioni localizzate di sovrasfruttamento causano una riduzione della risorsa idrica degli acquedotti pubblici nel periodo estivo, senza però significare uno sfruttamento "minerario" delle riserve.

MUGELLO

Nella Tabella seguente sono sintetizzati i dati relativi alle risorse sfruttate dagli acquedotti pubblici.

COMUNE	POZZI		SORGENTI		ACQUE DI SUPERFICIE	
	numero	Portata (l/s)	numero	Portata (l/s)		Portata (l/s)
Barberino	1	0,5	15	12	1 invaso 1 derivaz.	23,6 12
Borgo San Lorenzo	11	94,7	21	28,3	1 derivaz.	17
Scarperia	5	17	6	9,2		
San Piero a Sieve	5	24	1	0,8		
Vaglia	7	11,5	2	15	1 invaso 2 derivaz.	1,8 7,5
Vicchio	2	6,7	7	17	2 derivaz.	20
Totale	31	154,4 (48,5%)	52	82,3 (25,8%)	8	81,9 (25,7%)

Come possiamo vedere, i pozzi sono la principale risorsa degli acquedotti pubblici. I più numerosi, ed anche quelli che danno le portate maggiori, sfruttano l'acquifero costituito dalle alluvioni recenti della Sieve: qui i pozzi forniscono anche 15-20 l/s.

Il bilancio idrico redatto per la Provincia di Firenze (Pranzini, 2001) riguarda la falda delle alluvioni della Sieve da S. Piero a Vicchio, che interessa un'area di 13,05 kmq. I risultati sono riportati nella tabella seguente.

Infiltrazione areale	Apporti laterali	Apporti sotterranei	Infiltrazione dagli alvei	Ricarica totale	Deflusso sotterraneo	Drenaggio dei fiumi	Prelievi totali	Prelievi acquedotti	Prelievi privati	Differenza Entrate - uscite
Mmc/a	Mmc/a	Mmc/a	Mmc/a	Mmc/a	Mmc/a	Mmc/a	Mmc/a	Mmc/a	Mmc/a	Mmc/a
2,621	2,414	0,050	1,068	6,153	0,000	4,218	0,395	0,183	0,212	1,540

Rispetto al Valdarno Superiore, la differenza fra le entrate e le uscite calcolate è percentualmente inferiore, 25% delle entrate. Questo fa ritenere che i pozzi abusivi siano in numero minore.

Dalla situazione geologica possiamo dire che la riserva permanente non è elevata, per il fatto che le ghiaie hanno uno spessore inferiore ai 10-15 metri, e che la ricarica avviene soprattutto dall'infiltrazione nell'alveo della Sieve e dei suoi affluenti. Questo rende la falda strettamente dipendente dal regime pluviometrico e dei deflussi, con riduzione delle riserve nel periodo estivo. Un elemento positivo, in questo senso, è stato introdotto con l'entrata in esercizio dell'invaso di Bilancino: il rilascio di una portata minima garantita durante il periodo estivo ha prodotto un'alimentazione più continua e consistente alla falda da parte della Sieve; infatti, nell'estate-autunno 1991 i pozzi dell'acquedotto di Borgo S. Lorenzo hanno avuto una produzione nettamente maggiore rispetto agli anni precedenti.

IL MEDIO VALDARNO

La pianura di Firenze-Prato-Pistoia rappresenta l'evoluzione di un bacino lacustre, nel quale si sono accumulati fino a 600 metri di sedimenti.

Gli acquiferi principali corrispondono ai depositi alluvionali recenti dell'Arno nella pianura di Firenze, nonché ai paleoconoidi del Bisenzio a Prato e dell'Ombrone a Pistoia.

La falda di Firenze

L'acquifero è rappresentato dalle ghiaie alluvionali dell'Arno, che raggiungono uno spessore massimo di 20 metri nel centro di Firenze e alle Cascine. La zona più produttiva è quella adiacente all'Arno, sia per la buona permeabilità delle ghiaie sia perché i pozzi usufruiscono della ricarica indotta dalla depressione conseguente l'emungimento: in questa situazione si trovano i pozzi dell'acquedotto fiorentino (Anconella, le Cascine e Mantignano), che fornivano anche 20 l/s ciascuno e che ora sono stati abbandonati, soprattutto per l'inquinamento da solventi clorurati, nitriti e nitrati.

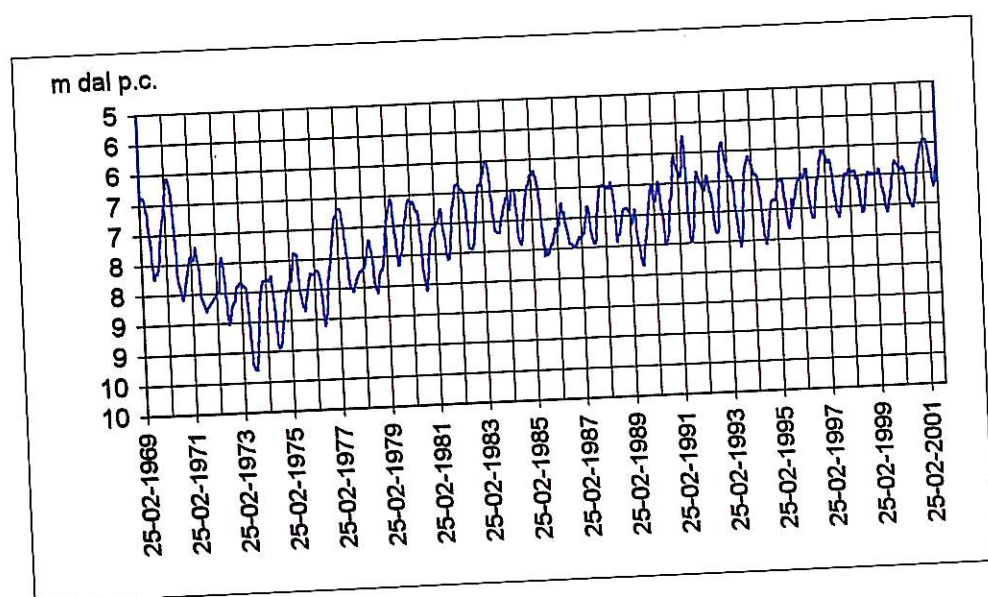
Il bilancio idrico redatto (Pranzini, 2001) riguarda tutta la pianura compresa nella provincia di Firenze, quindi tutta la parte sud-orientale del Valdarno Medio, fino al conoide di Prato escluso, per un'area di 150,3 kmq. I risultati sono i seguenti.

Infiltrazione areale	Apporti laterali	Apporti sotterranei	Infiltrazione dagli alvei	Ricarica totale	Deflusso sotterraneo	Drenaggio dei fiumi	Prelievi totali	Prelievi acquedotti	Prelievi privati	Differenza Entrate - uscite
Mmc/a	Mmc/a	Mmc/a	Mmc/a	Mmc/a	Mmc/a	Mmc/a	Mmc/a	Mmc/a	Mmc/a	Mmc/a
16,353	4,286	1,000	11,197	32,835	1,170	1,235	16,911	11,883	5,028	13,519s

Anche in questo caso il bilancio serve più a valutare la risorsa idrica, pari alla ricarica totale annua, e a stimare l'entità dei prelievi abusivi piuttosto che a stabilire la compatibilità dei prelievi con la risorsa.

La registrazione del livello nei pozzi dell'Osservatorio Freatimetrico di Firenze mostra, oltre alle variazioni stagionali, delle pronunciate escursioni pluriennali (Capecchi e al., 1975), che sono però ben correlate con l'entità delle precipitazioni negli stessi anni (Fig. 17).

Fig. 17 - Livello settimanale nel piezometro di Piazza D'Azeglio a Firenze.



Per effetto del mancato pompaggio dei pozzi comunali, che si è aggiunto al progressivo abbandono dei pozzi privati, varie zone della città registrano negli ultimi anni un rialzo del livello medio di falda.

In sintesi, la falda presente nel sottosuolo della città sembra mostrare in questi ultimi anni un saldo attivo fra la ricarica e le estrazioni d'acqua. Per evitare un ulteriore innalzamento del livello freatico, che può creare problemi di umidità o anche allagamento dei loca-

li interrati, sarebbe opportuna una ripresa degli emungimenti, almeno in certe zone: l'acqua potrebbe essere usata per tutte quelle necessità per le quali non è richiesta la potabilità, quali l'innaffiamento dei giardini e il lavaggio delle strade.

Al contrario, nella zona ad ovest di Firenze, fra l'Osmannoro, Sesto Fiorentino e Calenzano, si registra un progressivo abbassamento del livello piezometrico, relativo agli acquife-

ri confinati presenti nella successione fluviolacustre, per effetto del pompaggio dei numerosi pozzi presenti nell'area industriale (Fig. 18).

La falda di Prato

La falda è la più importante fra quelle del Medio Valdarno: le ghiaie ed i ciottolami del

conoide del Bisenzio raggiungono uno spessore massimo di 50 metri e forniscono ai pozzi portate piuttosto alte. Anche al di sotto del corpo acquifero principale, fino alla profondità di oltre 300 m, sono presenti livelli di ghiaie con falde in pressione (Fig. 19).

La registrazione dei livelli idrici indica un

Fig. 19- Sezioni idrogeologiche del conoide di Prato (da Landini e Pranzini, 2001). 1: Limo sabbioso. 2: Detrito di versante. 3: Ciottoli e ghiaie. 4: Limi ed argille. 5: Calcari marnosi della Calvana. 6: Pozzi con litostratigrafia. 7: Tavola d'acqua della falda libera ricostruita con le misure nei piezometri dell'ottobre 2001. 8: Livello piezometrico delle falde confinate.

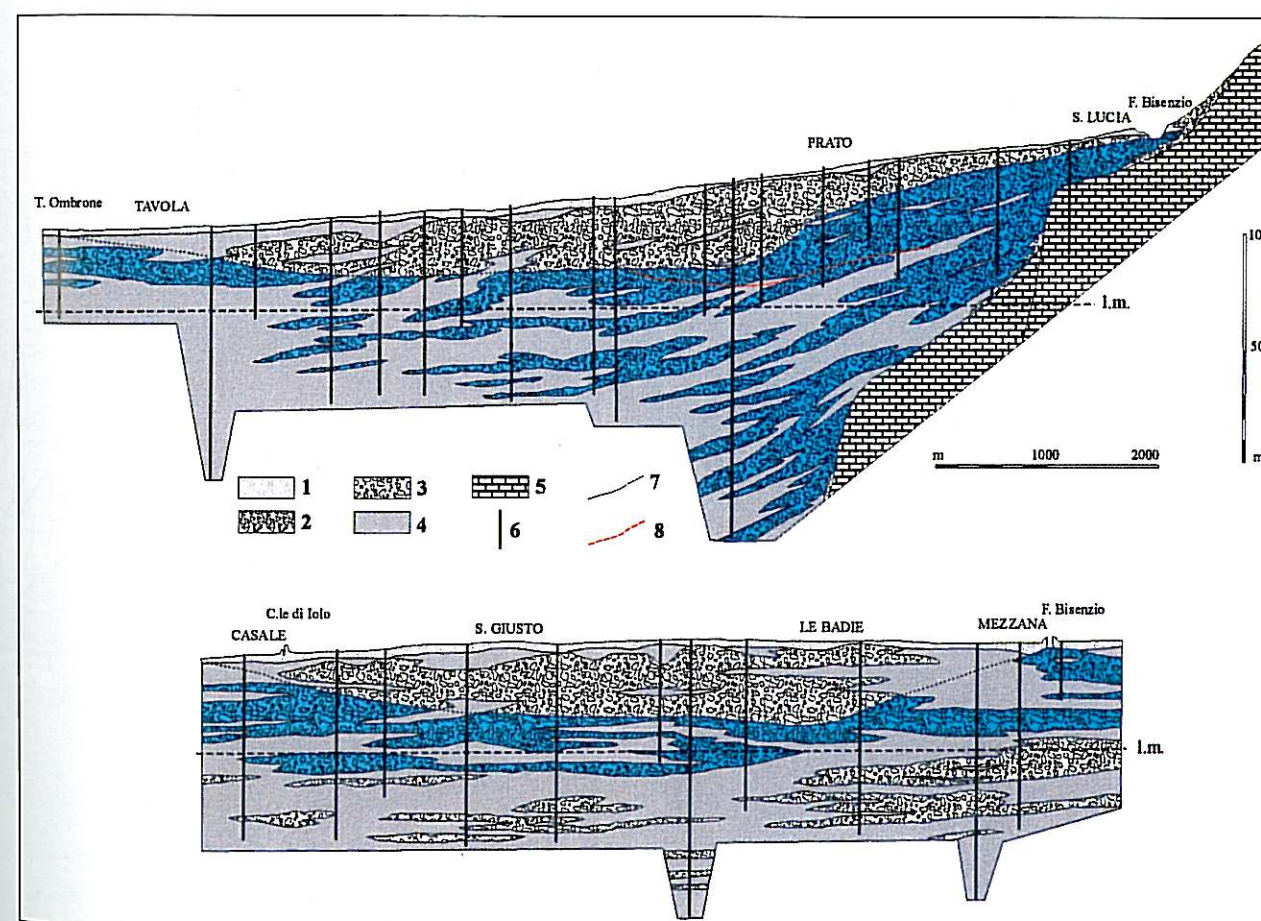
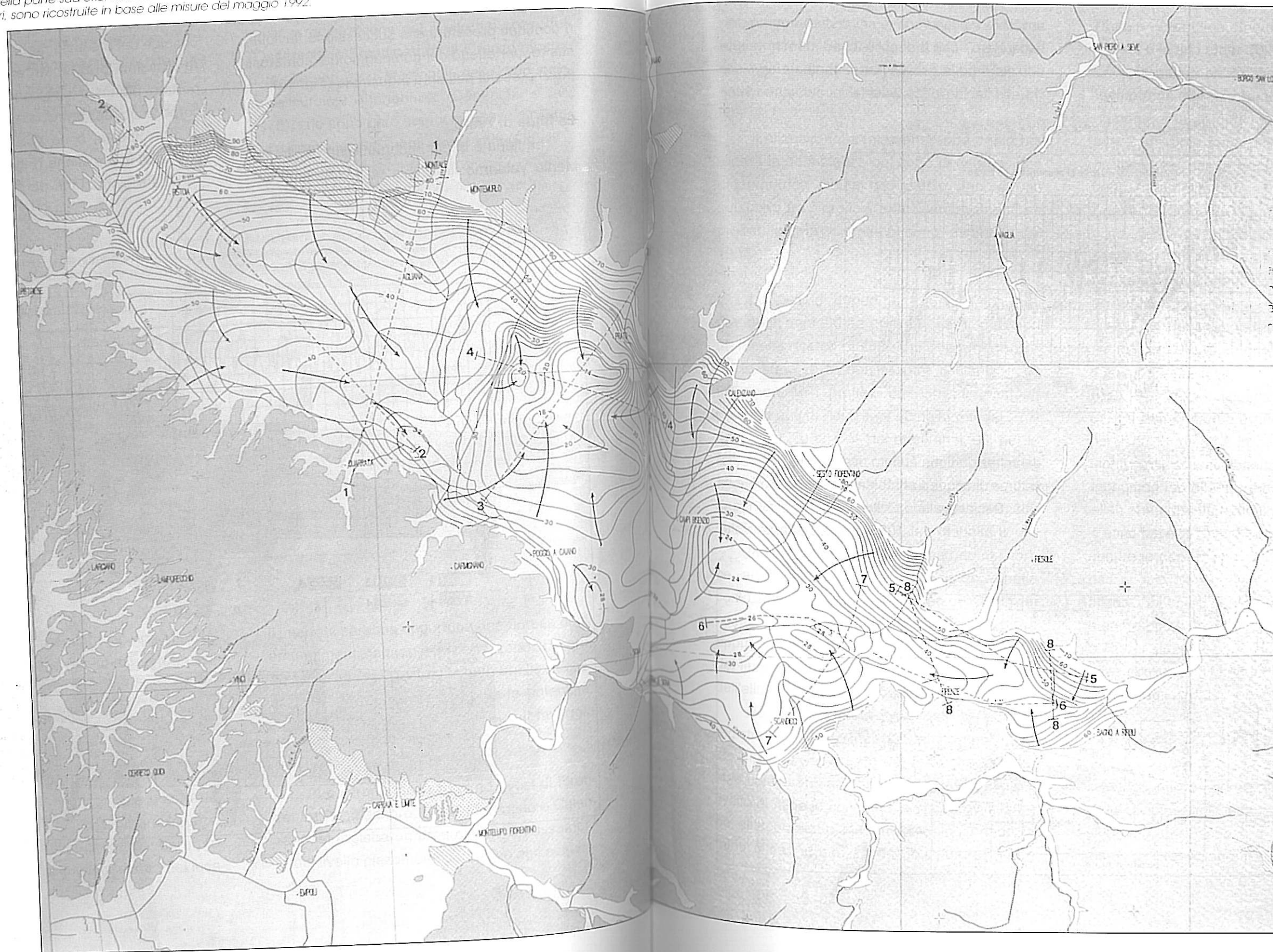


Fig. 18 - Piezometria della parte sud-orientale del Medio Valdarno (da Gargini e Pranzini, 1995). Le isopieze, con equidistanza 2 metri, sono ricostruite in base alle misure del maggio 1992.

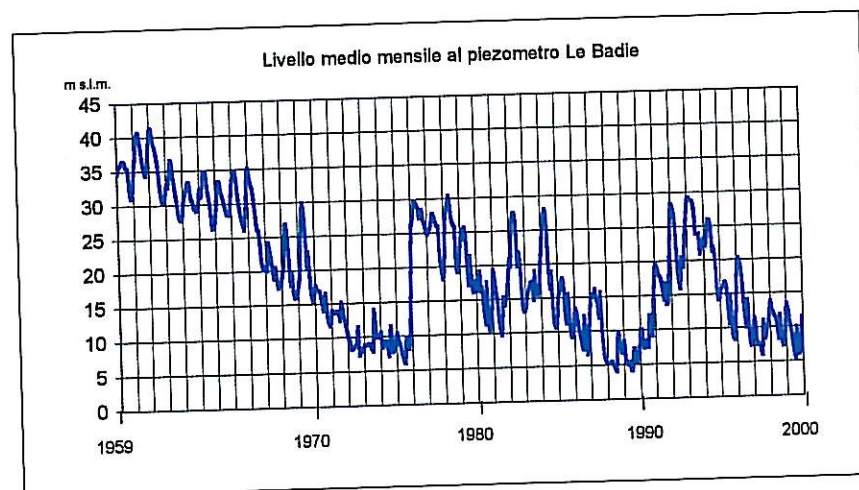


progressivo impoverimento della falda a partire dagli anni '60 (Fig.20), tanto che si è formato un profondo ed ampio cono di depressione della superficie piezometrica. Abbiamo quindi

una chiara situazione di sovrasfruttamento dell'acquifero, che ha portato ad una notevole riduzione delle riserve permanenti.

Il bilancio idrico della falda, per l'anno 1988

Fig. 20 - Livello piezometrico medio mensile nel pozzo delle Badie (Prato), dal 1959 al 2000.

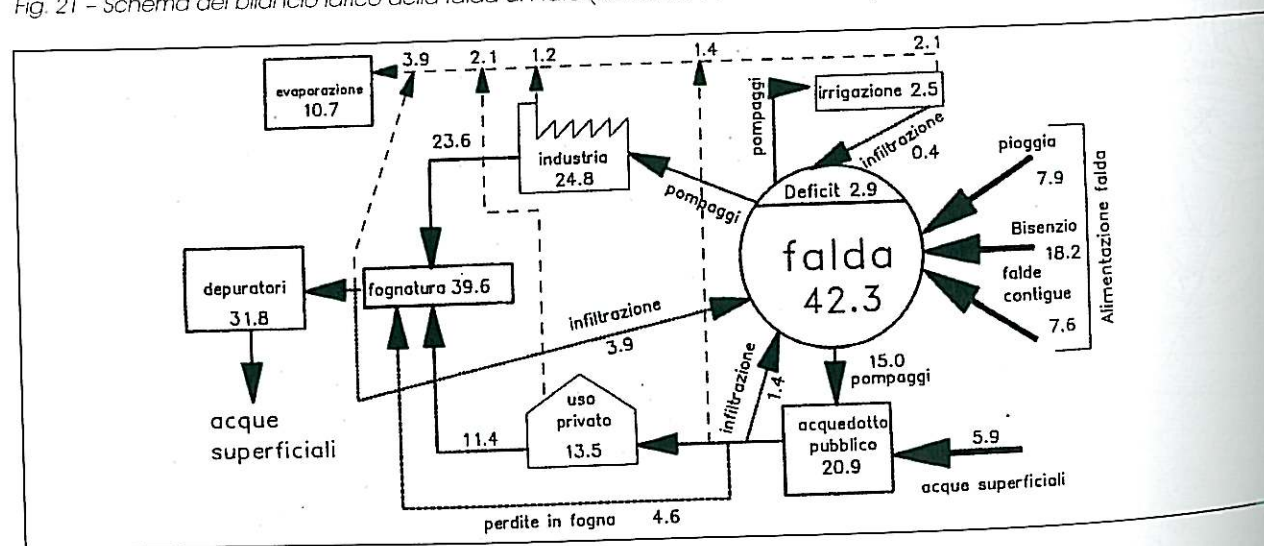


(Fig. 21) è piuttosto attendibile, in quanto il termine di solito più incerto, quello dei pompaggi privati (in questo caso soprattutto da parte delle industrie della lana), non deriva dalle denunce o

da valutazioni ma è stato ricostruito a partire dal volume di acqua trattato dai due depuratori della città, Baciacavallo e Calice.

Il bilancio del 1988 coinvolgeva un volu-

Fig. 21 - Schema del bilancio idrico della falda di Prato (da Landini e Pranzini, 1991)



me d'acqua pari a circa la metà della riserva totale, stimata di 81 milioni di mc. E' evidente che, persistendo quel bilancio annuale, in qualche decennio la riserva si sarebbe esaurita.

Il bilancio della falda andrebbe aggiornato, ma la persistenza del cono di depressione piezometrica indica che esiste ancora uno squilibrio fra i prelievi e la ricarica, anche se probabilmente i prelievi sono diminuiti dal 1988.

Lo stato di deperimento della falda, alla fine degli anni '80 ha costretto i suoi maggiori utenti alla ricerca di soluzioni atte a migliorarne lo stato di salute. Mentre il Consiag ha incrementato i prelievi dai torrenti montani, potendo quindi ridurre gli attingimenti dal 97% degli anni '70 al 72% dei primi anni '90, per le industrie è stato realizzato un acquedotto industriale, che utilizza sia l'acqua trattata dal depuratore di Baciacavallo che quella derivata dal Fiume Bisenzio.

Inoltre è stato attuato un metodo di ricarica artificiale della falda, consistente nella costruzione di traverse nell'alveo del Bisenzio: come si è visto, il bilancio idrogeologico aveva appurato che l'infiltrazione nell'alveo ghiaioso del fiume fornisce una percentuale importante dell'alimentazione della falda.

Nonostante questi interventi la falda ha registrato solo rialzi limitati e temporanei. Questo dipende soprattutto dal fatto che le industrie continuano ad utilizzare i pozzi, quando il livello di falda lo consente, e si approvvigionano all'acquedotto industriale solo quando la falda è così depressa da non potere fornire

l'acqua necessaria.

L'acquifero di Prato sarebbe il migliore del Valdarno Medio, per la capacità di immagazzinamento e la produttività dei pozzi. Esso può avere un ruolo importante sia per l'industria pratese che per la gestione programmata e coordinata delle risorse idropotabili nel nuovo Ambito Territoriale Ottimale. Già da tempo si è visto che il ruolo della falda di Prato dovrebbe essere quello di riserva strategica, da utilizzare in alternativa alle risorse di superficie quando queste sono scarse. La falda può avere questa funzione a condizione che il livello piezometrico risalga in modo da riempire di nuovo il volume delle ghiaie attualmente asciutte (v. Fig. 19). Una possibilità in questo senso è offerta dalla ricarica artificiale della falda. Da parte del Consiag è in corso di progettazione un campo sperimentale con pozzi d'infiltrazione.

In ogni caso appare opportuno non consentire la perforazioni di altri pozzi, se non ad uso acquedottistico: anche in assenza di un bilancio idrico aggiornato, possiamo senz'altro ritenere che la falda di Prato sia sovrasfruttata e che ci siano le condizioni per definire l'uso delle acque per il consumo umano prioritario rispetto agli altri usi.

La falda della pianura di Pistoia

L'acquifero principale coincide con il delta-conoide dell'Ombrone, le cui ghiaie raggiungono uno spessore massimo di 20-25 metri, ma presentano frequenti anche se sottili

intercalazioni di limi.

Nella pianura pistoiese la falda rappresenta la risorsa quasi esclusiva per l'attività ortovivaistica, ma sono numerosi anche i pozzi ad uso domestico.

L'acquedotto di Pistoia utilizza 18 pozzi in località Pontelungo, in fregio all'Ombrone, che forniscono l'85% dell'acqua distribuita dall'acquedotto. La portata complessiva è di circa 180 l/s in periodo di morbida (quando alcuni pozzi non vengono utilizzati) e di 150 l/s in periodo di magra, quando il livello della falda scende di oltre 3 metri. Questo dipende dal fatto che i pozzi sono alimentati soprattutto dall'Ombrone, la cui portata si riduce a pochi litri al secondo nel periodo di magra, o addirittura va in secca per molti giorni dell'anno.

Le diverse ricostruzioni della superficie freatica effettuate nella pianura di Pistoia (Capecchi e Pranzini, 1986; Gargini e Pranzini, 1995, Capecchi e Pranzini, 1996) indicano che la tavola d'acqua si trova ovunque a piccola profondità (1-5 metri).

Un tentativo di bilancio annuo del sistema acquifero sotterraneo della pianura pistoiese (Capecchi e Pranzini, 1996) ha fornito i seguenti valori, in milioni di metri cubi.

$$De + P + Pr = E + I + Du$$

182,31 128,89 12,65 80,96 40,86 202,03

dove De sono i deflussi in entrata, P le precipitazioni, Pr i prelievi, E l'evapotraspirazione, I l'infiltrazione e Du i deflussi in uscita.

I prelievi dalla falda sono stati calcolati come segue:

dai pozzi degli	
acquedotti pubblici	6,93 Mmc/anno
per l'irrigazione	4,87 "
per uso domestico	0,69 "
per uso industriale	0,16 "

Totale: 12,65 Mm³/anno

Si fa notare che i prelievi per uso irriguo sono stati calcolati non in base alle denunce al Genio Civile, ma sulla base della quantità richiesta per ettaro irrigato, tenendo conto sia dell'estensione delle aree irrigue che del tipo delle colture. Pertanto il dato calcolato non dovrebbe essere lontano da quello vero.

Per l'uso industriale i prelievi sono stati calcolati in base alle denunce dei pozzi al Genio Civile. Anche se una parte dei pozzi non è stata denunciata, la differenza fra i prelievi veri e quelli calcolati non dovrebbe essere grande, visto che nel Pistoiese non ci sono industrie con cicli di lavorazione tali da richiedere grandi quantitativi d'acqua.

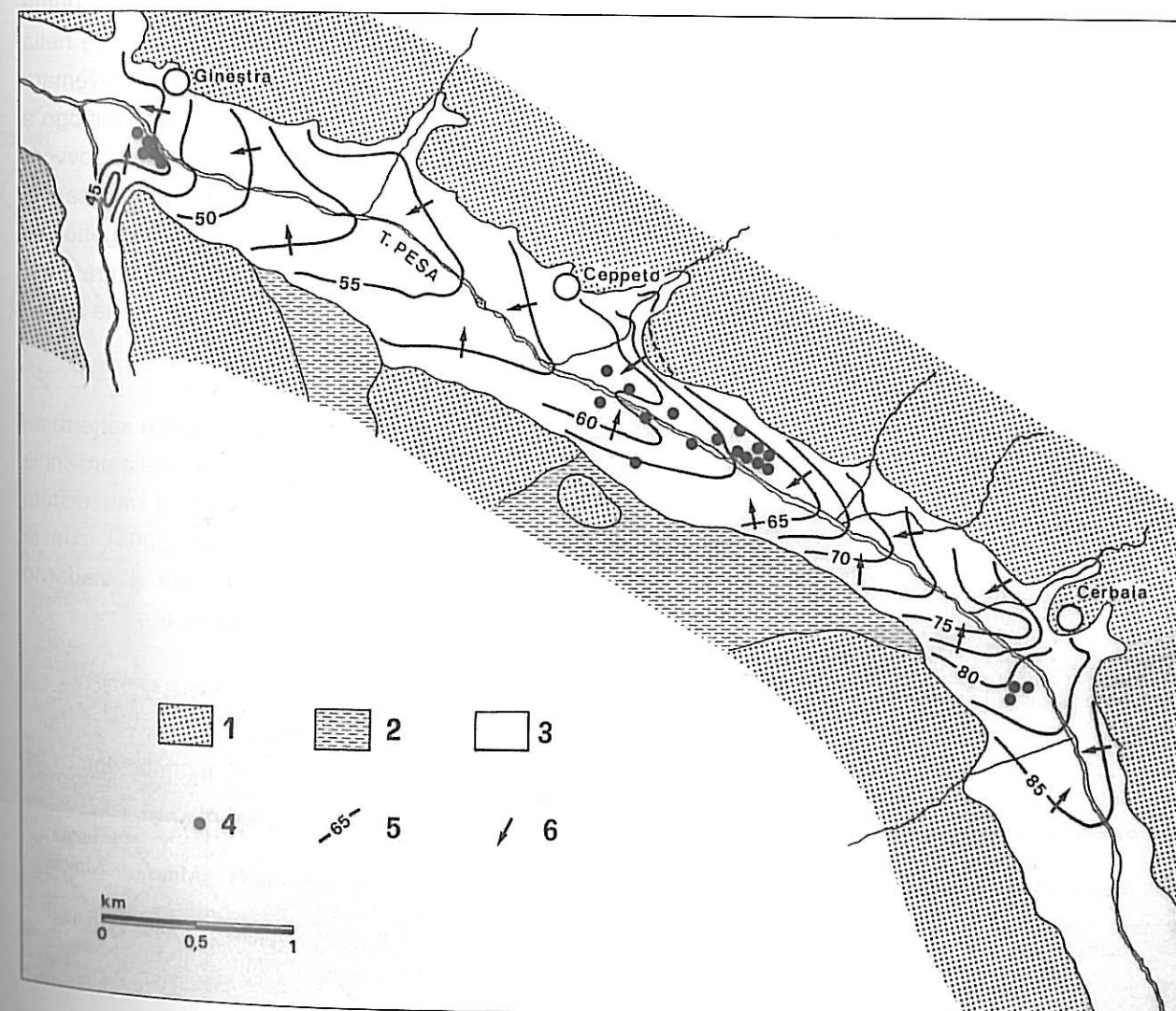
Pertanto dal bilancio, pur con le approssimazioni inevitabili nel calcolo dei vari parametri, emerge il dato che i prelievi dal sottosuolo (12,65 Mmc/anno) sono decisamente inferiori alla ricarica media (40,86 Mmc/anno). Questo trova conferma nella sostanziale stabilità della superficie freatica nella pianura, come risulta dal confronto delle misure eseguite nel 1975, nel 1992 (Fig. 18) e nel 1996.

Per concludere, possiamo dire che lo

stato di salute dell'acquifero pistoiese è buono e non si registrano tendenze all'abbassamento del livello medio della falda. Tuttavia il campo pozzi di Pontelungo soffre di crisi ricorrenti nel periodo estivo, in relazione alla scarsa consistenza delle riserve idriche permanenti, che non garantiscono il mantenimento della produzione dei pozzi.

Quindi, nella zona di alimentazione dei pozzi dell'acquedotto di Pistoia è opportuno non concedere ulteriori attingimenti da parte di privati. Questa zona è stata delimitata con buona precisione in uno studio eseguito per conto del Comune di Pistoia (Gabbani e al., 1992).

Fig. 22 - Isotreatiche della falda delle alluvioni del T. Pesa (da Landini, 1996).



LA VAL DI PESA

Il fondovalle del torrente Pesa contiene un acquifero alluvionale di buona permeabilità (ghiaie con sabbia) ma di modesto spessore. In questo fondovalle ci sono 13 campi pozzi, cui appartengono complessivamente oltre 60 perforazioni, per un emungimento totale di quasi 150 l/s, in gran parte prelevato dalla falda freatica contenuta nelle alluvioni fluviali; ad esso localmente si aggiunge l'emungimento da alcuni profondi livelli ciottolosi del Pliocene marino, nei quali si localizza una falda in pressione. Ai prelievi dalle acque sotterranee si aggiunge a Sambuca Val di Pesa una derivazione d'acqua superficiale la cui entità varia in funzione del deflusso in alveo.

La produttività dei pozzi dipende dalla portata del Pesa, in quanto i pozzi usufruiscono della ricarica indotta dai coni di depressione (Fig. 22). In questa situazione le portate estive si riducono notevolmente, anche per la concorrenza di pozzi privati, soprattutto ad uso agricolo.

Pertanto, nella pianura alluvionale della Val di Pesa la concessione di nuovi attingimenti dal sottosuolo deve essere considerata con attenzione: nelle aree di influenza dei campi pozzi ad uso acquedottistico è opportuno non

consentire l'escavazione di altri pozzi. Si fa osservare che il Consiag ha fatto delimitare le aree di salvaguardia dei suoi pozzi in Val di Pesa; queste potrebbero essere prese come riferimento per le aree in cui non concedere ulteriori attingimenti privati.

LA PIANURA DELL'ARNO FRA MONTELUPO E FUCECCHIO

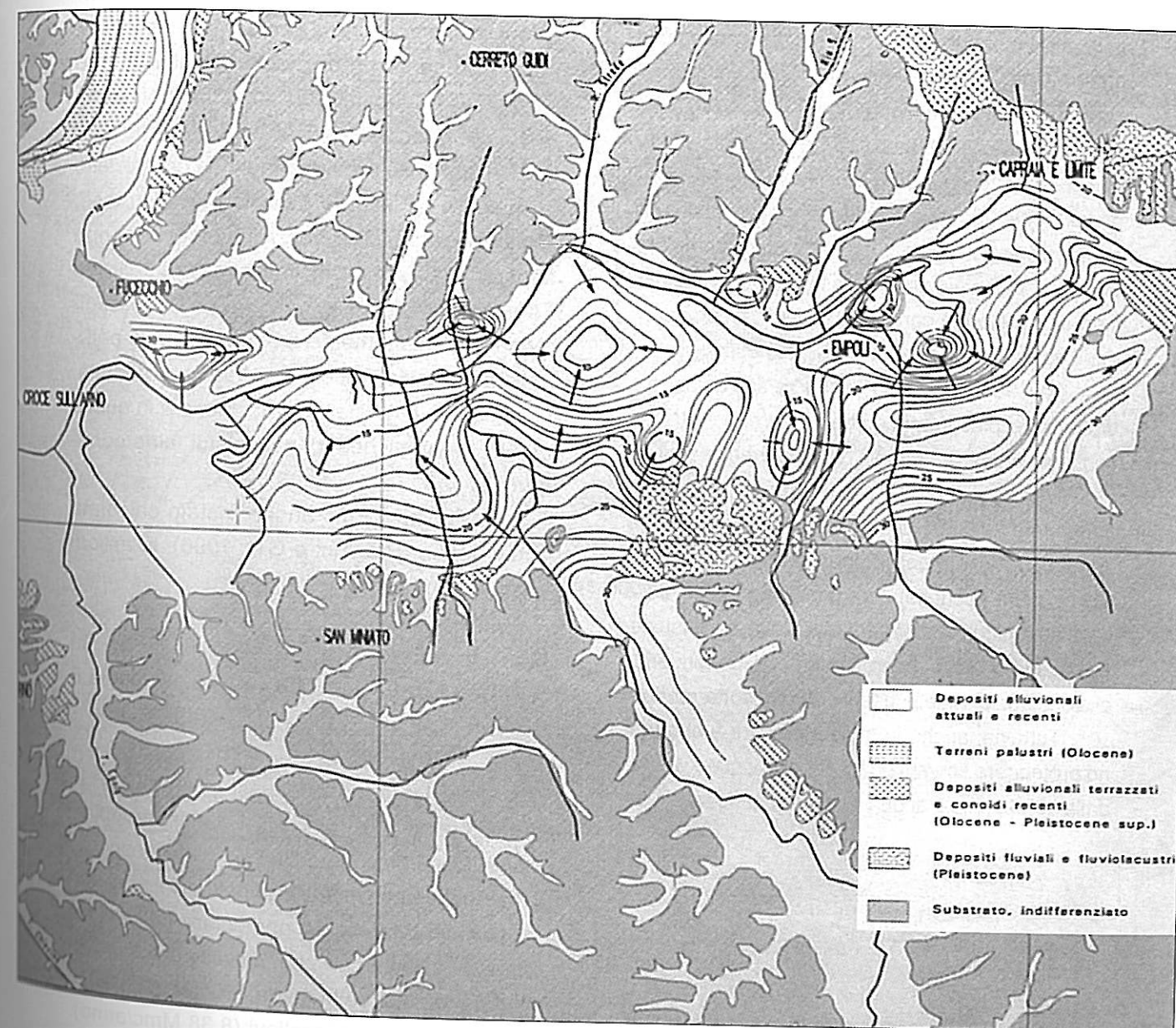
I livelli produttivi si trovano sia nelle ghiaie alluvionali che nei ciottolami pliocenici: le prime sono sede di una falda semiconfinata che nella ristretta area di confluenza in Arno può diventare anche freatica; i secondi danno sempre luogo a falde confinate, talora anche artesiane, ovvero fluenti al di sopra della superficie topografica.

La profondità dei pozzi che attingono dai livelli alluvionali è in media di 30 m, mentre quelli che sfruttano i livelli acquiferi del Pliocene hanno una profondità fino a 70-80 m.

Un bilancio idrico degli acquiferi sotterranei della pianura, estesa fino al limite della provincia di Firenze su una superficie di 42,16 kmq, è stato tentato nello studio di Pranzini (2001), con la stessa metodologia illustrata per il Valdarno Superiore. I risultati sono i seguenti:

Infiltrazione areale	Apporti laterali	Apporti sotterranei	Infiltrazione dagli alvei	Ricarica totale	Deflusso sotterraneo	Drenaggio dei fiumi	Prelievi totali	Prelievi acquedotti	Prelievi privati	Differenza Entrate - uscite
Mmc/a	Mmc/a	Mmc/a	Mmc/a	Mmc/a	Mmc/a	Mmc/a	Mmc/a	Mmc/a	Mmc/a	Mmc/a
5,382	1,060	0,070	5,719	12,231	0,126	2,184	8,935	7,486	1,449	0,986

Fig. 23 - Superficie piezometrica nella pianura di Empoli (da Cioli e Ghezzi, 1996)



In questo caso la differenza fra le entrate e le uscite è abbastanza piccola, solo l'8% della ricarica totale. Questo si spiega con il fatto che in questa pianura, al contrario di quanto avviene nelle altre pianure della provincia di Firenze delle quali è stato fatto il bilancio, i prelievi per acquedotti, dei quali disponiamo di dati attendibili, sono percentualmente alti (sono l'84% dei prelievi totali). Il quadro piezometrico del tratto di pianura d'Arno tra Montelupo e Fucecchio (Fig. 23) è influenzato dai pompaggi in atto. La geometria piezometrica originaria non è più riconoscibile, risultando modificata dai numerosi con di depressione corrispondenti quasi sempre ai campi pozzi in esercizio.

Dal 1986, a cura di Publisser, è attiva una rete di controllo piezometrico che comprende oltre un centinaio di pozzi, la quale, con frequenza almeno trimestrale, consente di tenere sotto controllo l'andamento stagionale dei livelli nei campi pozzi. Da questo controllo emerge che i livelli di falda registrano delle escursioni stagionali ed anche della variazioni pluriennali legate alla piovosità annuale, senza che ci sia, almeno fino ad ora, un tendenza alla diminuzione delle riserve idriche sotterranee.

Tuttavia, anche in questa pianura è opportuno proteggere i campi pozzi ad uso acquedottistico dalla sottrazione d'acqua da parte dei pozzi privati.

LA VALDINIEVOLE

I depositi alluvionali recenti sono appoggiati sopra sedimenti fluviolacustri villafranchiani. Nella zona nord-occidentale della pianura è presente un orizzonte di ghiaie molto permeabili, deposte dai conoidi dei torrenti Pescia di Pescia, Pescia di Collodi e Nievole, provenienti dalle aree montagnose prospicienti la pianura (Pizzorne, Montagna Pistoiese, Monte Albano). Tali conoidi verso sud non superano all'incirca la linea dell'autostrada Firenze-Mare, oltre la quale si passa a sedimenti prevalentemente fini, fino a quelli palustri del Padule di Fucecchio. A varie profondità, nelle sabbie e ghiaie villafranchiane e in quelle marine plioceniche, sono presenti falde confinate.

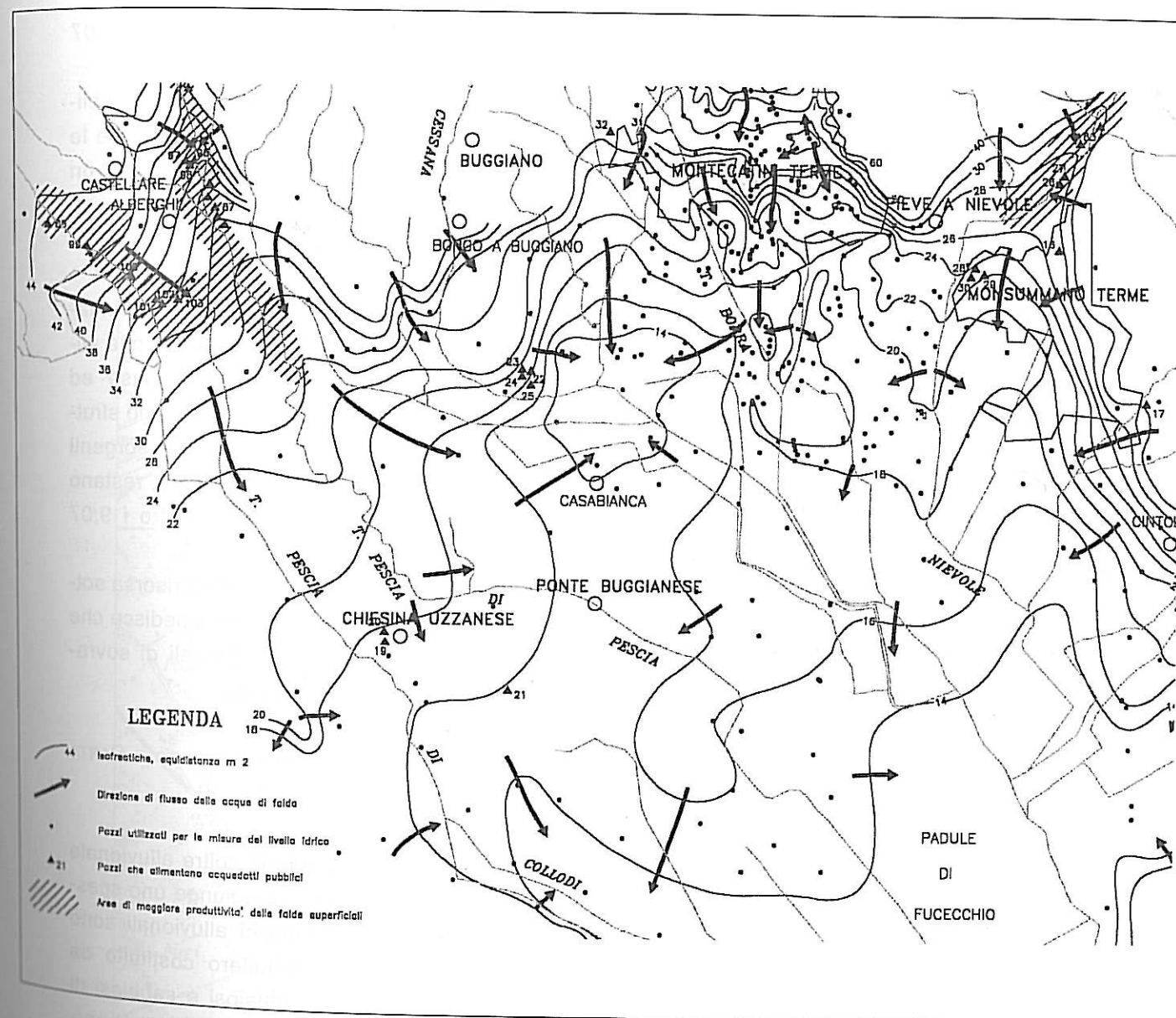
Il bilancio medio annuo è stato calcolato come segue (Pranzini e GTI, 1996), in milioni di mc/anno:

$$\begin{array}{rcccccc} De & + & P & + & Pr & = & E & + & I & + & Du \\ 138,53 & & 125,96 & & 8,38 & & 80,10 & & 35,0 & & 157,77 \end{array}$$

dove De sono i deflussi in entrata, P le precipitazioni, Pr i prelievi, E l'evapotraspirazione, I l'infiltrazione e Du i deflussi in uscita.

Anche con l'incertezza nel calcolo dei vari termini del bilancio, in particolare dell'infiltrazione, possiamo dire che, a livello di bacino, la ricarica media della falda (35 Mmc/anno) è molto maggiore dei prelievi (8,38 Mmc/anno). Il che non significa che non ci possano essere situazioni locali di squilibrio, peraltro non note.

Fig. 24 - Piezometria della Valdinievole, anni 1977-1983 (da Pranzini e GTI, 1996).



La superficie piezometrica riportata nella Fig. 24 è stata ripresa dallo studio di Pranzini e GTI (1996), ma si riferisce a misure di livello prese nel maggio 1977 in circa 380 pozzi (Varlecchi, 1977) e, per l'area di Montecatini T.-Monsummano, a misure in circa 300 pozzi prese nella primavera 1983 (ECOGEO, 1983): poiché in quest'area i livelli piezometrici presi a distanza di 5 anni negli stessi pozzi risultavano abbastanza vicini fra di loro, gli autori hanno ritenuto opportuno riportare la isopieze più recenti, opportunamente semplificate per la carta in scala 1:25.000.

Non disponendo di ricostruzioni più recenti, non possiamo avere indicazioni dalla piezometria se ci sono aree con sovrasfruttamento della falda.

Si può rilevare che, nella parte nord di Montecatini Terme, l'isofreatica di metri 40 chiusa indica un alto circoscritto della superficie freatica, che deve essere messo in relazione con la risalita delle acque termali che si spandono nell'acquifero freatico. Questo è confermato dalla elevata salinità che ha l'acqua dei pozzi poco profondi.

Isofreatiche chiuse di valore inferiore a quelle circostanti, che indicano un basso relativo della superficie freatica, erano già presenti immediatamente a sud di Montecatini e sono da mettere in relazione con gli emungimenti dell'area industriale.

LA VAL D'ELSA

Per il bacino chiuso alla stazione idrometrica di Castelfiorentino (circa il 90% dell'intero bacino idrografico) è stato fatto un accurato

bilancio delle acque sotterranee (Gala, 1999).

Le riserve regolatrici, calcolate con tre metodi diversi (vedi par. 3.3.1), sono di 45,7 milioni di m³/anno.

I prelievi di acqua assommano a 9,07 Mm³/a, così divisi:

- 6,51 Mm³/a dai pozzi degli acquedotti pubblici, calcolati come differenza fra i prelievi e le perdite di rete (15%, che rappresentano un ritorno nel sottosuolo);
- 2,56 Mm³/a dai pozzi privati.

La differenza fra la ricarica media annuale e il prelievo risulta di 36,63 Mm³/a, che alimentano l'Elsa come deflusso di base ed escono dal bacino. Se non consideriamo sfruttabili le acque termominerali delle due sorgenti principali, Vene degli Onci e Caldane, restano ancora disponibili 12,9 Mmc/a contro i 9,07 Mmc/a prelevati.

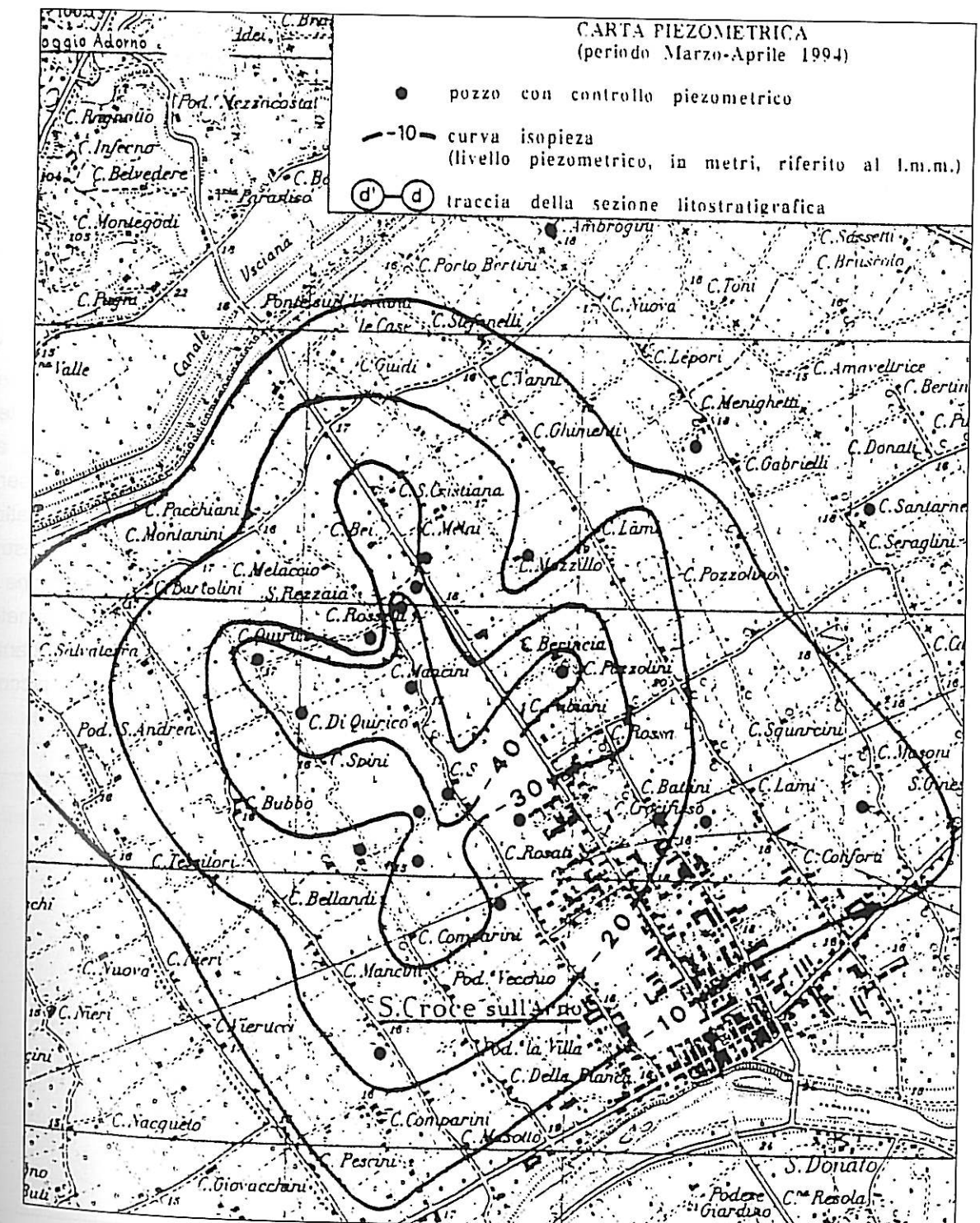
Al solito, questo surplus della risorsa sotterranea a livello di bacino non impedisce che ci possano essere situazioni locali di sovrasfruttamento, peraltro non note.

LA PIANURA DELL'ARNO TRA FUCECCHIO E SANTA CROCE

A valle di Fucecchio la coltre alluvionale deposta del Fiume Arno raggiunge uno spessore di 80 metri. I depositi alluvionali sono sede di un sistema acquifero costituito da alternanze di orizzonti ghiaiosi e sabbiosi di spessore variabile, separati da livelli impermeabili aventi una buona continuità laterale.

Il quadro piezometrico locale, rappresentato nella Fig. 25, pur risultando dalle misure

Fig. 25 - Piezometria della zona compresa fra Fucecchio e S. Croce (da Gagliardi e Mezzetti, 1996).



eseguite in pozzi dove era stato interrotto il pompaggio, riflette una situazione dinamica indotta dai pompaggi in pozzi vicini. Possiamo infatti notare un profondo cono di depressione piezometrica, con livelli fino ad oltre 40 m sotto la quota del mare.

A partire dall'anno 1985, a cura del Comune di Santa Croce, è attiva una rete di monitoraggio che, con frequenza trimestrale, consente di tenere sotto controllo l'andamento stagionale dei livelli piezometrici dei pozzi. La sostanziale stabilità dei livelli dinamici nel tempo indica che, a dispetto della profonda depressione, c'è un equilibrio fra le estrazioni globali annue e l'alimentazione.

LA PIANURA DI LUCCA

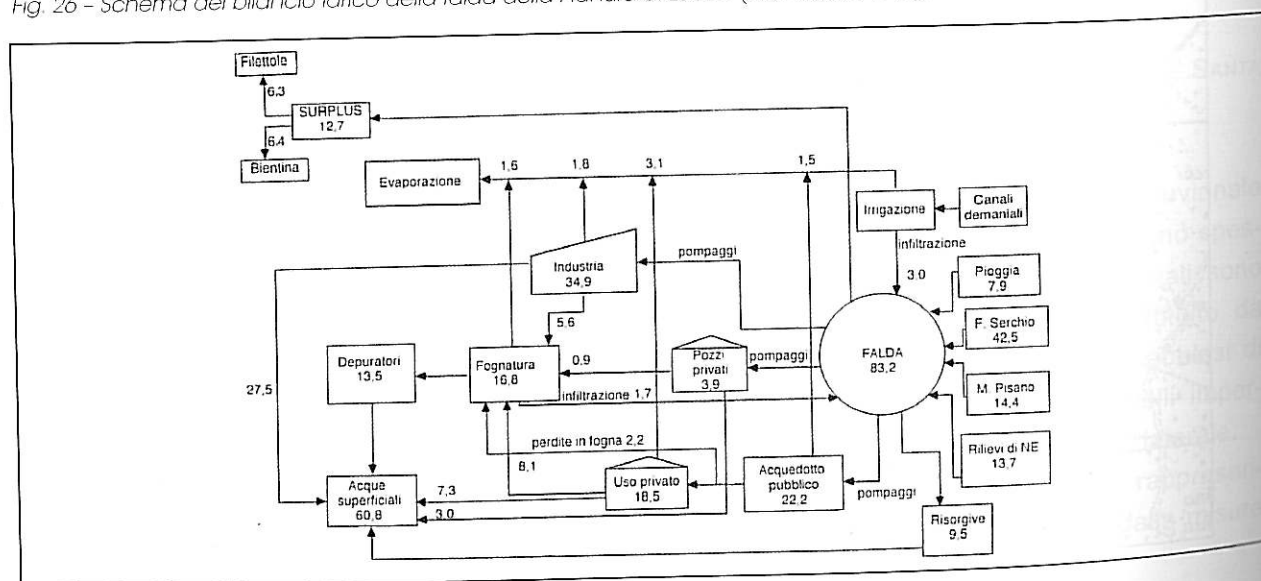
Anche se la pianura appartiene tutta al bacino del Serchio, l'acquifero presenta uno spartiacque sotterraneo, memoria di quando il Serchio era affluente dell'Arno attraverso la

valle di Bientina.

La falda ha caratteristiche freatiche nella maggior parte della piana, dove il livello di ghiaie e sabbie acquifere non risulta confinato verso l'alto da terreni impermeabili. Invece, nella porzione centro-meridionale sono presenti in copertura i depositi limoso-argillosi di bassa permeabilità, per cui la falda acquifera acquista caratteristiche di semiartesianità e di artesianità man mano che si procede da Nord verso Sud.

Si consideri che, in passato, nella zona di Capannori - Porcari c'erano delle risorgive: l'acqua di falda diretta verso sud, trovando terreni a bassa permeabilità, era costretta ad uscire in superficie, dando origine ad una serie di rigagnoli. L'abbassamento del livello freatico ha eliminato queste risorgive e creato i presupposti per fenomeni particolari: la formazione di piccole buche (del diametro di pochi decimetri) per il crollo del terreno superficiale nei canali percorsi dall'acqua sotterranea a piccola

Fig. 26 - Schema del bilancio idrico della falda della Pianura di Lucca (da Nollèdi, 1996).



profondità. Tale fenomeno è al momento oggetto di studi ed indagini più accurate.

Secondo il bilancio idrogeologico redatto da Nollèdi e Sani nel 1998 (Fig. 26), come aggiornamento di quello del 1986 (Nardi e al.,

1987), il totale delle entrate nella pianura dovute ad infiltrazione diretta o indiretta di acque superficiali ammonta a 65.300.000 mc/anno. A questo valore si somma il contributo dovuto all'infiltrazione meteorica diretta sulla pianura, calcolato in 16.800.000

Prelievi da acquedotti pubblici	36.431.000 mc/anno
Prelievi industriali autorizzati	26.438.000 mc/anno
Prelievi per usi domestici	2.694.000 mc/anno
Altri prelievi: igienici, antincendio, ecc.	4.837.000 mc/anno
Deflussi superficiali da risorgive	3.500.000 mc/anno
Totale	73.900.000 mc/anno

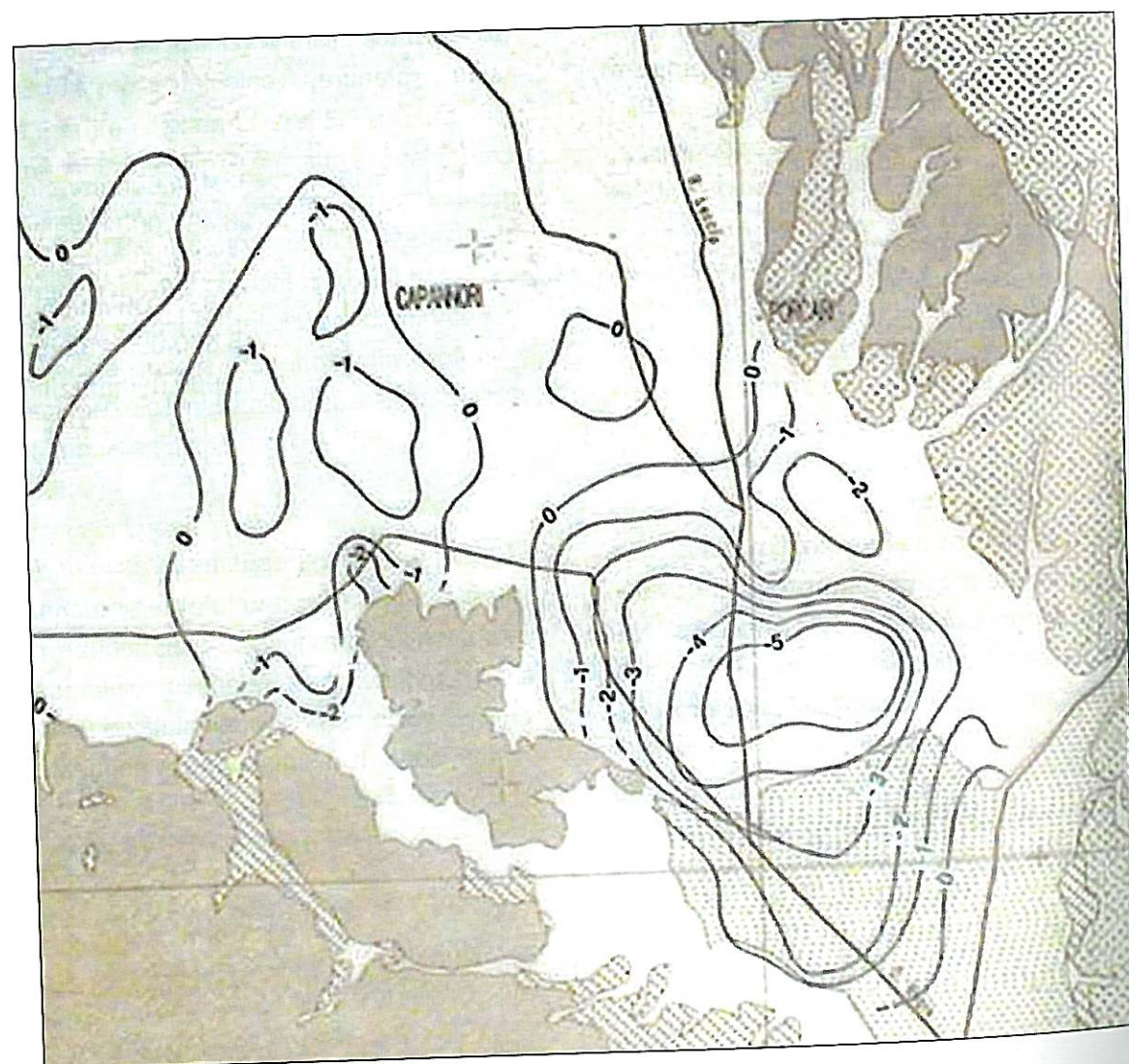
mc/anno, per cui il valore medio totale delle entrate (risorse idriche sotterranee rinnovabili in termini di portata media) ammonta a 82.100.000 mc/anni.

Le riserve totali (quantità di acqua stoccata nell'acquifero alluvionale) sono state definite in 675.000.000 di mc, per cui gli 82.100.000 mc che costituiscono la riserva regolatrice nell'anno meteorico medio rappresentano il

12,2%, valore che esprime il tasso di rinnovamento della falda, mentre il tempo di rinnovamento della riserva idrica è di 8 anni.

I prelievi dalla falda della pianura (oltre 10.000 pozzi censiti), con valutazione della loro entità, sono riassunti nel modo seguente

Fig. 27 - Curve di uguale abbassamento della superficie freatica, in metri, nella pianura di Lucca fra il 1975 e il 1995 (da Nalledi, 1996).



Pertanto, la differenza tra entrate ed uscite (attivo di bilancio) è di:

$$82,1 \times 10^6 - 73,9 \times 10^6 = 8,2 \times 10^6 \text{ mc/anno,}$$

pari a circa 260 l/sec.

6. CONCLUSIONI

Tale esubero si dovrebbe suddividere, in uscita dalla pianura, in parte nell'alveo del Bientina (ad Est) ed in parte sul lato Ovest, nella stretta di Filettole-Ripafratta. In corrispondenza dell'uscita del Bientina attualmente la falda si presenta depressa, con una chiara situazione di sovrasfruttamento nell'area ove si concentrano i prelievi per acquedotti pubblici e per il polo industriale della carta (Fig. 27); qui gli emungimenti superano la ricarica naturale ed hanno anche causato subsidenza del terreno con danni agli edifici.

Pertanto è molto probabile che l'attivo del bilancio idrologico della falda come sopra calcolato defluisca quasi interamente in corrispondenza della soglia Ovest a Filettole.

LA PIANURA DI PISA

Nel sottosuolo della pianura pisana c'è un notevole spessore di sedimenti inconsolidati, fra i quali sono presenti vari intervalli acquiferi.

Oltre ad un primo acquifero poco profondo di scarsa produttività, in limi sabbiosi, troviamo due principali acquiferi confinati:

1. "Primo acquifero artesiani in sabbie";
2. "Primo acquifero artesiani in ghiaie".

L'acquifero in sabbie non è molto produttivo e l'acqua è spesso di cattiva qualità, per eccesso di cloruri e ferro.

L'acquifero in ghiaie si trova fra 40 e 150 metri di profondità e contiene acqua di buona qualità, salvo in prossimità del mare dove c'è un inizio di intrusione marina. Dall'acquifero in ghiaie attingono acqua i pozzi dei diversi acquedotti pubblici.

Di questo acquifero è stato fatto un calcolo delle riserve totali e della variazione stagionale

nale delle riserve (Vieri, 1996):

Riserve totali: 465 milioni di m³

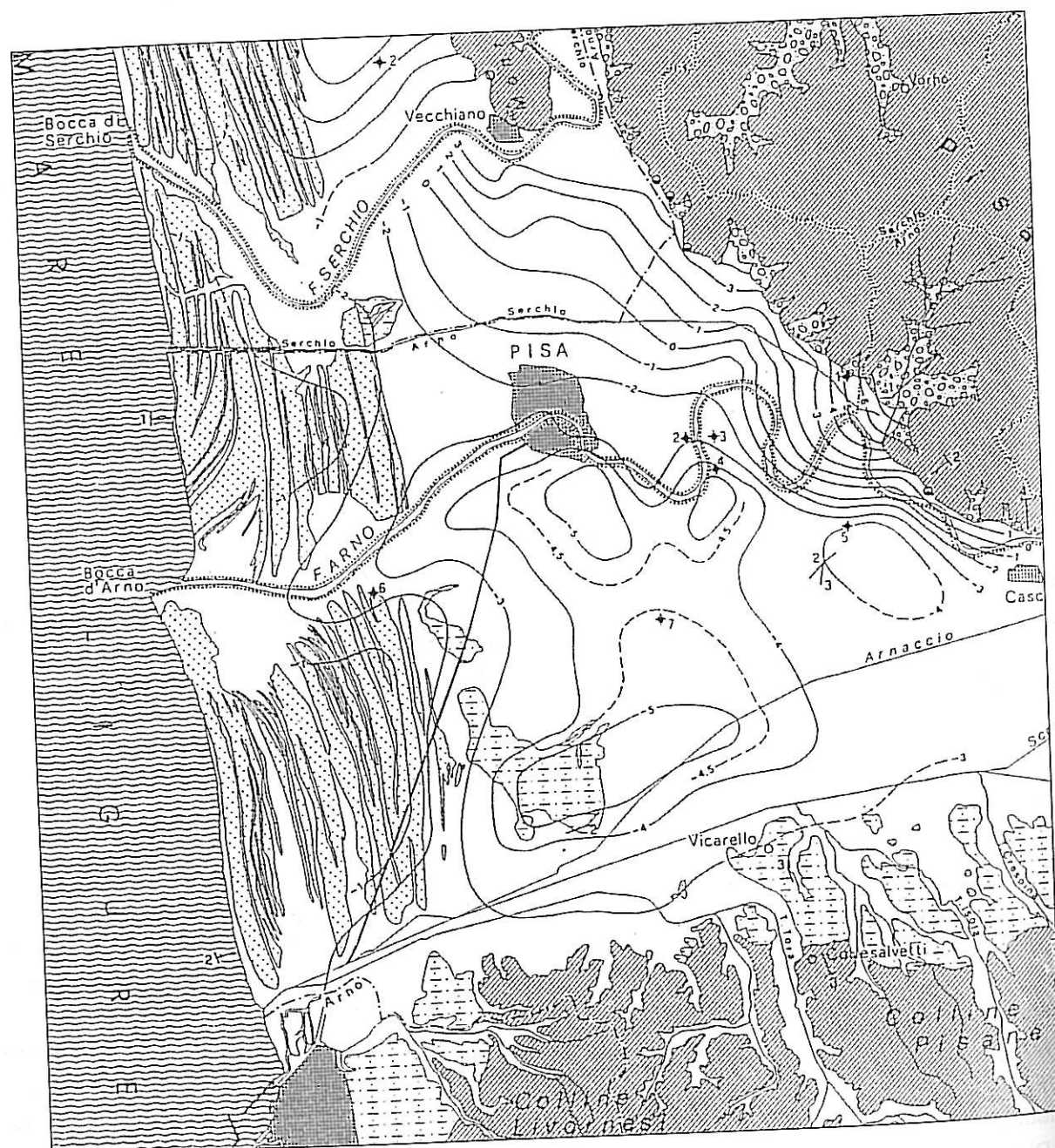
Variazione stagionale della riserva: 82.500 m³

La ricarica annua dell'acquifero è stata calcolata in circa 38 milioni di mc (Baldacci e al., 1995). Ne risulta un tasso di rinnovamento della riserva pari all'8%.

Non è stato ancora fatto un calcolo dei prelievi dall'acquifero, da confrontare con la ricarica, né un monitoraggio della falda, dal quale rilevare l'eventuale abbassamento progressivo dei livelli piezometrici. Dalle misure effettuate negli anni '80 (Baldacci e al., 1995) già risultava un ampio cono di depressione permanente della superficie piezometrica, che occupava buona parte della pianura pisana (Fig. 28). La depressione è stata confermata dai rilievi effettuati nella primavera e nell'autunno 1995 (Vieri, 1996).

Un'altra zona di intenso sfruttamento delle acque sotterranee è quella di Vicarello, dove c'è il campo pozzi per l'acquedotto di Livorno (Tav. 4), nonché tutta la zona di Guasticce. In particolare per questa area, tra l'altro in buona parte occupata dall'Interporto "Amerigo Vespucci", dovranno essere attivate indagini di dettaglio per consentire l'individuazione di interventi che permettano una corretta gestione della risorsa sotterranea, anche in funzione dei problemi di subsidenza tipici della zona.

Fig. 28 - Piezometria della pianura di Pisa, isopieze in m s.l.m. (da Baldacci e al., 1995).



In questo capitolo vengono ripresi i temi trattati nei capitoli precedenti, con le seguenti finalità:

1. evidenziare i risultati essenziali dei bilanci idrici redatti;
2. discuterne la validità;
3. fare il quadro delle deficienze, cioè dei dati e degli studi necessari per giungere ad un bilancio idrico veramente attendibile per ogni parte dei bacini dell'Arno.

6.1 BILANCIO IDROGEOLOGICO DEI BACINI

I bilanci idrologici medi annui dei 15 sottobacini sottesi dalle stazioni idrometriche hanno un buon livello di precisione, anche dove le misure di portata non coprono l'intero periodo 1960-1991 in quanto la serie storica risulta comunque sufficientemente estesa da fornire dati statisticamente significativi.

Per gli altri 18 sottobacini selezionati, per i quali i deflussi sono stati calcolati mediante l'equazione di regressione multipla che utilizza, oltre ai dati climatici (precipitazioni e temperature), le caratteristiche fisiografiche dei bacini (acclività media, permeabilità ed uso del suolo), gli stessi sono evidentemente meno affidabili degli altri, ma forniscono comunque valori con un errore stimato non superiore al 10%.

Se confrontiamo il volume d'acqua disponibile nei diversi bacini (afflussi meteorici meno evapotraspirazione), possiamo osserva-

re una notevole differenza fra i bacini montani (Casentino, Mugello, Val di Bisenzio) e quelli delle Toscana collinare. Nei primi, gli afflussi meteorici sono molto maggiori dell'evapotraspirazione, per cui la disponibilità idrica è dello stesso ordine di grandezza dell'evapotraspirazione; nei secondi, le minori precipitazioni e le maggiori temperature riducono la risorsa disponibile a circa la metà dell'evapotraspirazione.

Ciò nonostante, a livello medio annuo, in tutti i bacini le risorse idriche disponibili superano ampiamente i volumi d'acqua utilizzati per i diversi scopi. Il problema, ai fini dello sfruttamento, è rappresentato dalla distribuzione di queste risorse nell'arco dell'anno; in particolare è essenziale valutare la disponibilità nel periodo estivo, quando le risorse fluenti si riducono notevolmente a causa del regime pluviometrico, e contemporaneamente aumenta la richiesta soprattutto per l'uso irriguo. Ecco quindi l'importanza dei bilanci idrologici mensili.

Per i 15 bacini sottesi dalle stazioni idrometriche, i valori dei deflussi disponibili hanno consentito di redigere dei bilanci idrogeologici medi mensili affidabili, per i quali è stato anche possibile separare le tre componenti del deflusso: ruscellamento superficiale, deflusso ipodermico e deflusso sotterraneo (o di base).

Per le stazioni idrometriche ubicate a valle le dighe di Levane e la Penna è stato possibile ricostruire le portate medie mensili del periodo antecedente la loro costruzione e confrontarle con quelle degli anni successivi,

perciò è possibile verificare gli effetti delle dighe sui deflussi mensili.

Il metodo usato per la individuazione delle componenti del deflusso (*metodo delle portate caratteristiche*) risulta affidabile, anche a seguito della verifica fatta per il bacino dell'Elsa, dove il deflusso di base è stato calcolato con questo metodo e con altri due metodi.

Purtroppo, anche per la separazione delle componenti del deflusso, lo sfruttamento delle acque fluenti altera in parte i risultati: in particolare è probabile che i rilasci dalle dighe portino ad una sovrastima del deflusso di base nei mesi estivi e ad una sottostima in quelli invernali.

Il bilancio idrologico medio mensile dei 18 bacini idrografici privi di misure del deflusso, il bilancio è stato redatto applicando agli afflussi meteorici i coefficienti di deflusso dei bacini che presentano caratteristiche climatiche e fisiografiche simili, perché il metodo della regressione multipla non ha dato buoni risultati. Per i bacini nei quali ci sono delle stazioni idrometriche (ad esempio il Casentino, che si chiude poco a valle della stazione dell'Arno a Subbiano, vedi tav. 2) il bilancio è certamente più preciso rispetto a quello dei bacini che ne sono privi (Ombrone, Padule di Fucecchio, Era, ecc).

Per nessuno dei 18 bacini è stato possibile separare i componenti del deflusso a livello mensile, mentre è stato calcolato il deflusso di base medio annuo con il metodo della regressione multipla.

Questi valori sono da considerarsi solo

indicativi, perché l'analisi statistica dei dati ha segnalato la presenza di parametri non considerati.

Il regime pluviometrico della nostra regione e la prevalenza di rocce a bassa permeabilità si traducono in una grande variabilità dei deflussi mensili, con portate di luglio e agosto spesso inferiori al 10% delle corrispondenti portate dei mesi invernali.

I bacini montani, quelli che fanno capo al crinale appenninico, hanno un regime delle portate mensili influenzato anche dallo scioglimento delle nevi: si spiega così il fatto che a maggio alcuni abbiano un deflusso superiore agli afflussi meteorici (coefficiente di deflusso > 1).

Oltre ai bilanci mensili ricostruiti sulla base dei deflussi effettivamente misurati, sono stati redatti anche i "bilanci medi mensili naturali" (o climatici), cioè quelli che si avrebbero in assenza di prelievi e scarichi.

Tali deflussi mensili hanno un certo margine d'incertezza dovuto al fatto che si conoscono le portate di prelievo concesse e non quelle effettive. Per tale motivo, nel tentativo di ottenere i deflussi climatici, sono stati apportati fattori correttivi ai prelievi concessi, basati su ipotesi di utilizzo delle concessioni. Ciò nonostante restano dubbi sui risultati, anche perché le curve di esaurimento che ne risultano presentano, in più di un caso, un andamento poco naturale. Il sospetto è che, nonostante le correzioni apportate, i prelievi netti siano in genere sovrastimati e di conseguenza i deflussi "naturali" calcolati siano superiori a quelli "cli-

matici" veri. E questo nonostante che i dati dei prelievi utilizzati non comprendano i prelievi abusivi, che pure si suppone essere consistenti in certi bacini (Valdichiana, Valdarno Superiore, Mugello).

Per potere giungere alla redazione di bilanci idrogeologici più precisi di quelli redatti, è necessario installare stazioni di misura dei deflussi alla chiusura dei bacini idrografici che ne sono privi. In particolare si trovano in questa condizione i seguenti corsi d'acqua:

1. Canale Emissario di Bientina
2. Canale Usciana del Padule di Fucecchio
3. Ombrone
4. Bisenzio
5. Mugnone
6. Greve
7. Pesa
8. Orme
9. Elsa
10. Egola
11. Era
12. Tora

Per l'Arno casentinese, il Canale Maestro della Chiana e la Sieve possiamo ritenere sufficienti i dati delle stazioni idrometriche esistenti, le quali, anche se non si trovano alla chiusura dei bacini, ne sono però abbastanza prossime da potere estrapolare i loro dati con buona approssimazione.

6.2 TENDENZA DEL CLIMA

I bilanci eseguiti si riferiscono al periodo 1960-1991. E' interessante valutare se e in quale misura la tendenza in atto del clima potrà fare cambiare questi bilanci nel prossimo futuro.

Come è noto, gli scienziati che si occupano a livello mondiale dei cambiamenti climatici sono praticamente concordi nel riconoscere un aumento della temperatura media annua della Terra.

Molto meno chiara è la tendenza delle precipitazioni; secondo la maggioranza dei ricercatori dobbiamo attenderci cambiamenti che saranno diversi nelle diverse zone del pianeta: in alcune poverà di meno in altre di più.

La Fig. 29 mostra le precipitazioni annue nel bacino dell'Elsa dal 1950 al 1997: la linea di tendenza indica un aumento fino agli anni '60 ed una successiva diminuzione. Se questa tendenza verrà confermata, andremo verso una riduzione delle risorse idriche.

Tuttavia dobbiamo considerare che, secondo quanto risulta dai valori di pioggia registrati all'Osservatorio Ximeniano di Firenze dal 1821, le precipitazioni seguono dei cicli, forse collegati al ciclo delle macchie solari (11 anni in media). Pertanto non è detto che la tendenza attuale alla diminuzione permanga negli anni futuri.

Nella nostra area, una tendenza riconosciuta è quella verso una diminuzione delle piogge nel periodo invernale ed un certo aumento in quello estivo.

Inoltre, sembra che il nostro clima tenda

verso una concentrazione delle piogge in periodi più brevi, ed un aumento della loro intensità, anche durante la stagione calda. L'episodio alluvionale del giugno 1996 nell'alta Versilia fu causato proprio da una precipitazione con queste caratteristiche.

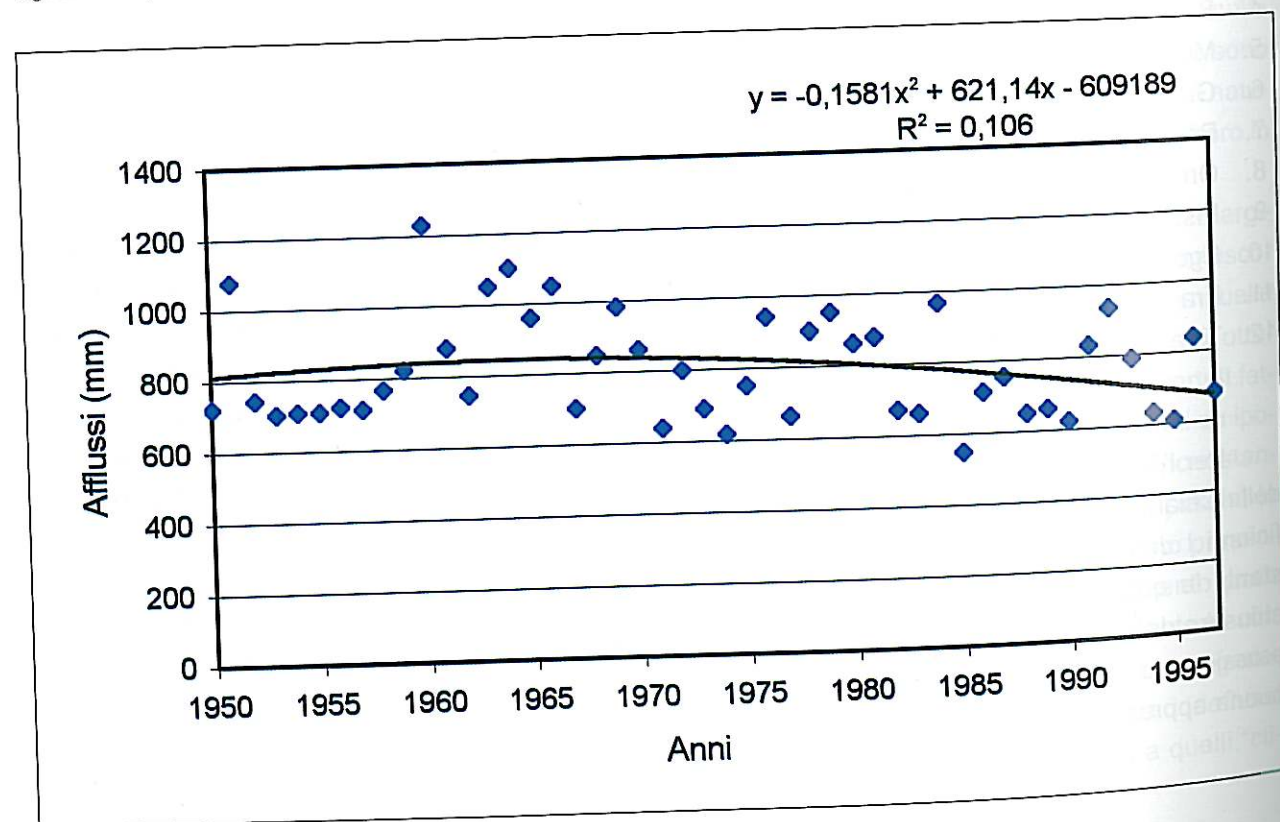
Questo cambiamento dovrebbe portare ad una diminuzione dei deflussi nel periodo invernale, mentre l'aumento delle precipitazioni nel periodo estivo non si tradurrebbe in un beneficio sostanziale, in quanto le piogge estive si trasformano in massima parte in evapotraspirazione.

Le conseguenze sarebbero più importanti, e negative, sulle risorse idriche sotterranee: la diminuzione delle piogge nel periodo freddo

e la loro concentrazione in periodi più brevi, comporterebbe una diminuzione dell'infiltrazione efficace e quindi una riduzione delle risorse sfruttabili.

A questo proposito si deve osservare che, in Toscana, la portata delle sorgenti si è notevolmente ridotta rispetto agli anni '50 e '60: le importanti sorgenti del Monte Amiata, che alimentano gran parte degli acquedotti civili della Toscana meridionale, negli ultimi anni hanno avuto una portata inferiore del 30%. Dato che le precipitazioni non sono diminuite così tanto, la causa principale va trovata nella drastica riduzione delle precipitazioni nevose, conseguente all'aumento della temperatura media invernale: è noto che, ai fini dell'infiltrazione

Fig. 29 - Precipitazioni annue (mm) nel bacino dell'Elsa dal 1950 al 1997 e linea di tendenza.



dell'acqua nel sottosuolo, la neve è molto più produttiva della pioggia.

6.3 DEFLUSSO MINIMO VITALE, PORTATE DI MAGRA E CONFRONTO CON I PRELIEVI

Dato il regime delle portate dei corsi d'acqua di nostro interesse, è importante giungere ad una valutazione delle portate minime stagionali: la domanda d'acqua è massima proprio in corrispondenza delle portate di magra. Purtroppo, alla scarsità di stazioni di misura di portata si aggiunge il fatto che la rete di teleidrometri recentemente installata nel bacino dell'Arno per la previsione delle piene, non consente di calcolare con sufficiente precisione le portate di magra.

Pertanto si è dovuto lavorare con i dati disponibili, estrapolando ai bacini non forniti di stazioni idrometriche i deflussi minimi misurati.

Per fornire un valore di portata minima statisticamente valido, per ogni sezione fluviale con stazione di misura delle portate è stato calcolato il $Q_{7,10}$, cioè la minima portata media settimanale (media mobile) con tempo di ritorno 10 anni. Questo valore, in attesa di determinazioni più specifiche, può essere utilizzato come indice del minimo deflusso vitale dei corsi d'acqua del bacino dell'Arno.

Il calcolo è stato condotto sia con i deflussi misurati sia con quelli "naturali". Mediante confronti fra bacini simili, i $Q_{7,10}$ sono stati calcolati anche per i 18 bacini idrografici.

Sarà comunque necessario considerare attentamente il fenomeno del prelievo d'acqua in fregio ai fiumi: in alcune valli (certamente in Valdichiana e nel Valdarno Superiore) il divieto temporaneo di prelievo imposto durante le magre accentuate viene aggirato pompando l'acqua da pozzi, o in semplici buche, scavati in prossimità dell'alveo.

Oltre al calcolo delle portate minime settimanali con tempo di ritorno 10 anni, per le sezioni fluviali in cui c'è (o c'è stato) un idrometrografo, è stato fatto anche il calcolo delle portate minime attese nell'eventualità che il periodo senza piogge significative si prolunghi per più mesi, come è avvenuto ad esempio nel 1985, quando solo a novembre arrivarono le piogge che consentirono all'acquedotto di Firenze di superare una grave crisi idrica.

Per questo calcolo è stato usato un metodo almeno in parte originale, basato sulla ricostruzione della curva di esaurimento delle portate. I risultati, riportati nel par. 4.4.3, devono essere considerati preliminari: in particolare le portate minime attese alla chiusura dei 21 bacini idrografici sono state ottenute con un metodo (in pratica una proporzione con i valori dei bacini contigui) che non può avere fornito valori precisi.

Per ottenere dati più attendibili è necessario avere la registrazione continua dei livelli idrici ed una buona curva di correlazione fra questi livelli e le portate. In mancanza di queste stazioni potrebbero essere eseguite alcune misure di portata (almeno 4 o 5) durante il periodo di magra, per potere ricostruire la curva di esaurimento delle portate.

6.4 BILANCIO IDROGEOLOGICO DEGLI ACQUIFERI SOTTERRANEI

Nel par. 3.3 sono stati calcolati i deflussi di base medi annui dei corsi d'acqua, con lo scopo di valutare le risorse idriche sotterranee dei vari bacini. Nonostante la scarsità di risorse sotterranee nel bacino dell'Arno, queste risorse sono sempre complessivamente superiori ai prelievi. Questo non significa che il bilancio idrico delle acque sotterranee debba essere dovunque in attivo, perché:

1. la maggior parte delle risorse idriche di sottosuolo non è sfruttabile, data la dispersione dell'acqua in rocce a bassa permeabilità;
2. ci possono essere situazioni locali di sovrasfruttamento anche in un bilancio complessivamente in attivo.

Per gli acquiferi montani non ci sono problemi: le acque sono captate alle emergenze naturali, le sorgenti, e in nessuna parte del bacino dell'Arno ci sono pozzi che vanno a sfruttare le riserve permanenti.

Diverso il discorso per gli acquiferi delle pianure, che sono i più importanti ma anche quelli più sfruttati.

Nel par. 5.2.3 sono riportati alcuni bilanci delle falde delle pianure. Tutti presentano un grado di approssimazione, maggiore o minore, dovuto alle difficoltà di calcolare sia la ricarica media annua sia i prelievi. Per questi ultimi, in particolare, si dispone attualmente solo di valutazioni, basate sulle concessioni di attingimento (poche), e sulle denunce (molto mag-

giori) dei pozzi in ottemperanza del D.L. 275 del 1993. Sono valutazioni anche i dati riportati in questo studio, sia pure basate sul numero dei pozzi denunciati nei diversi bacini e sul tipo d'uso dell'acqua.

Anche dopo l'ultimazione degli archivi, il calcolo dei prelievi avrà sempre un margine di incertezza perché:

- anche quando sono denunciati i prelievi (che non sono stati richiesti da tutti i Geni Civili), questi sono scarsamente attendibili, soprattutto per il timore da parte dei proprietari di una tassa sui quantitativi emunti;
- un numero di pozzi, diverso da zona a zona ma comunque consistente, non è stato denunciato ed è quindi abusivo; per gli acquiferi di pianura della Provincia di Firenze si può senz'altro dire che i pozzi denunciati sono meno di quelli abusivi (Pranzini, 2001).

In questo quadro, le situazioni di squilibrio possono emergere più facilmente dall'andamento storico dei livelli piezometrici, che non dai bilanci redatti. Nella tav. 4 sono indicate le zone nelle quali la presenza di con di depressione della piezometrica suggerisce uno squilibrio fra le estrazioni d'acqua e la ricarica.

Fra queste situazioni, le più gravi sono quelle di Prato e di Bientina.

A Prato è presente un profondo ed ampio cono di depressione della falda, con la superficie piezometrica che si è abbassata anche di oltre 30 metri. Il sovrasfruttamento, che si protrae da oltre 20 anni, ha portato ad una forte diminuzione delle riserve permanenti, e conseguentemente ad una riduzione della portata

complessiva dei pozzi. Poiché la falda è utilizzata dall'acquedotto pubblico, oltre che dalle industrie della lana, è opportuno non concedere la perforazione di altri pozzi.

Nella pianura fra Bientina e Porcari sono gli attingimenti delle industrie, soprattutto le cartiere, che hanno alterato l'equilibrio: la superficie piezometrica si è abbassata fino a 5 metri negli ultimi 20 anni. Qui la situazione geologica ha anche favorito la subsidenza del terreno, con danni agli edifici.

Situazioni di accentuato abbassamento della superficie piezometrica sono segnalate nell'area industriale di Sesto-Calenzano, nella pianura fra S.Croce e Fucecchio (Comprensorio del cuoio) e nella pianura di Pisa.

In altre zone (Valdarno Superiore, pianura di Empoli, Pistoiese) sono presenti accentuate depressioni stagionali della superficie freatica, da collegare con la scarsità delle riserve idriche sotterranee. Qui la situazione idrogeologica dovrebbe impedire il progredire degli abbassamenti, ma poiché nelle zone ci sono campi pozzi degli acquedotti pubblici, è opportuno impedire che altri pozzi privati sottraggano acqua a questi pozzi ad uso potabile, come di fatto già avviene.

L'indicazione delle situazioni di sovrasfruttamento elencate derivano da ricerche scientifiche, per lo più eseguite alcuni anni fa, e dalle segnalazioni generiche pervenute, non da un'indagine specifica e diretta su tutto il territorio; pertanto non si esclude che altre situazioni di squilibrio siano presenti nel bacino dell'Arno. Ad esempio, in Valdichiana si ritiene

che ci sia più di una zona in cui gli acquiferi confinati sono sovrasfruttati, ma la mancanza di studi specifici ha impedito di evidenziarle nella tav. 4.

In tutte le zone critiche indicate nella Tav. 4 (ed in altre zone in cui la superficie di falda presenti depressioni accentuate) sono necessari:

1. l'istallazione di una rete di monitoraggio piezometrico;
2. il censimento completo dei pozzi;
3. l'istallazione di contatori ai pozzi stessi;
4. la redazione di validi bilanci idrogeologici.

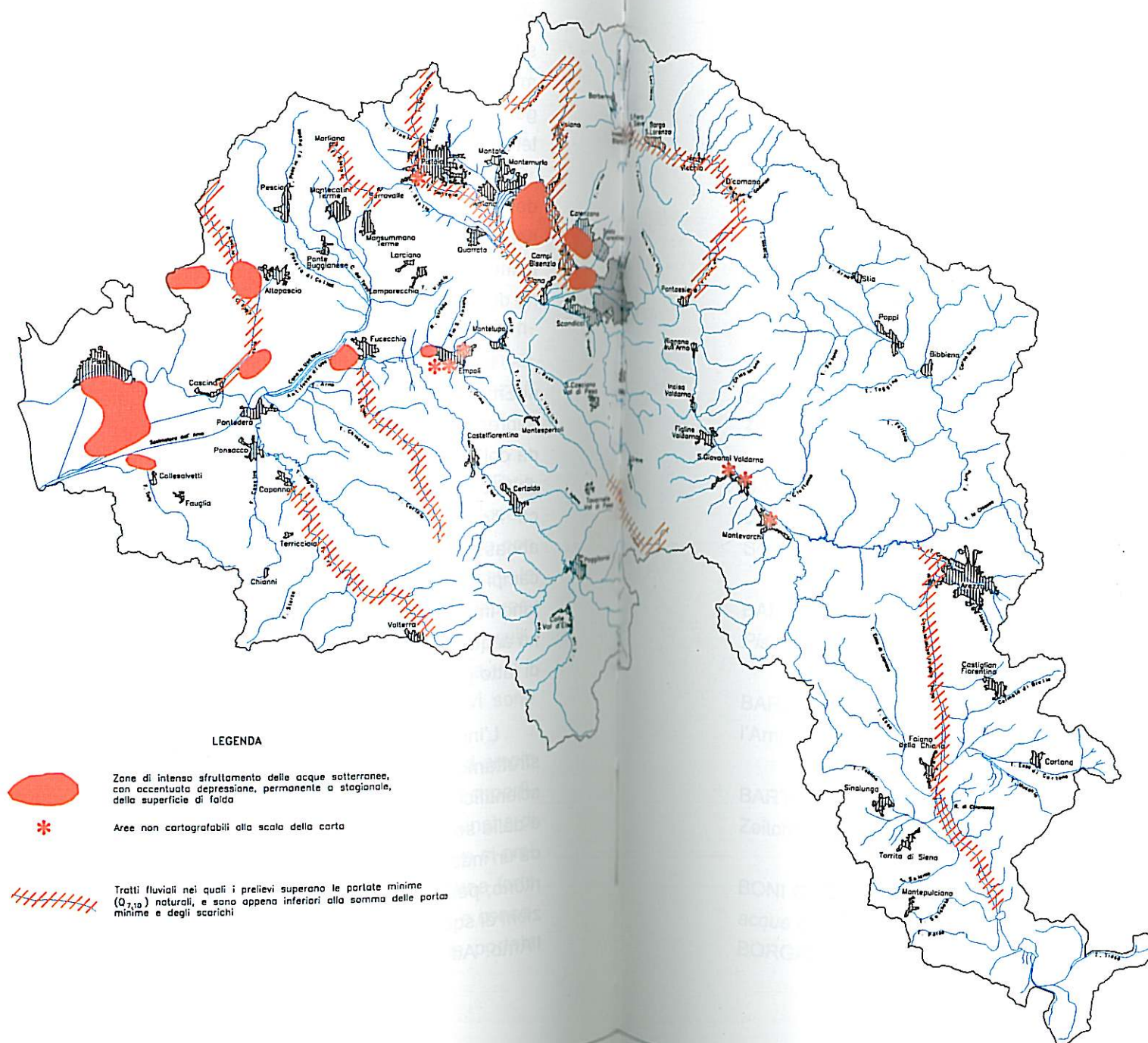
Sulla base dei risultati potrà essere necessario prendere provvedimenti per il riequilibrio fra la ricarica e i prelievi, secondo due possibili linee:

- a) ricorso a risorse idriche alternative (riciclo, sfruttamento di acque di superficie), soprattutto per gli usi agricoli e industriali;
- b) ricarica artificiale delle falde, dove la situazione geologica lo rende possibile.

TAV. 4 - AREE E ASTE FLUVIALI A RISCHIO DI EMERGENZA IDRICA

0 15 30km

Scala 1:600.000



BIBLIOGRAFIA

AUTORITA' DI BACINO DEL FIUME ARNO (1999) – Piano di Bacino stralcio "Qualità delle acque" (DPCM 31 marzo 1999).

ADESSI A. (1998) – *Carta della Vulnerabilità della Val di Chiana senese*. Tesi di laurea inedita, Dipartimento di Scienze della Terra, Università di Firenze.

ASSOCIAZIONE "AMICI DI PESCIA" (1994) - *Studi sull'inquinamento delle falde acquifere del territorio pesciatino*. Convegno di studi, Pescia, nov. 1993.

BALDACCI F. con contributi di R. Spandre (1996) – *La pianura di Pisa*. In: *Studio sulle falde idriche delle pianure alluvionali dei bacini dell'Arno e del Serchio*. Relazione inedita dei Dipartimenti di Scienze della Terra delle Università di Firenze e Pisa per l'Autorità di Bacino del Fiume Arno.

BALDACCI F. (1996) – *La Pianura costiera versiliese-pisana*. In: *Studio sulle falde idriche delle pianure alluvionali dei bacini dell'Arno e del Serchio*. Relazione inedita dei Dipartimenti di Scienze della Terra delle Università di Firenze e Pisa per l'Autorità di Bacino del Fiume Arno.

BALDACCI F., BELLINI L., GRAZIOSI B., MANNOCCI C. & RAGGI G. (1988) - *Studio idrogeologico e geomorfologico dei bacini in sinistra dell'Arno e della Pianura pisana*. Amministrazione Provinciale di Pisa - Dipartimento di Scienze della Terra Università di Pisa, inedito.

BALDACCI F., CECCHINI S., LOPANE G. & RAGGI G. (1993) - *Le risorse idriche del bacino del Fiume Serchio ed il loro contributo all'alimentazione dei bacini idrografici adiacenti*. Mem. Soc. Geol. It., 49, 365-391 "Scritti in onore di L. Trevisan".

BALDACCI F., BELLINI L. & RAGGI G. (1995) - *Le risorse idriche sotterranee della Pianura Pisana*. Atti Soc. Tosc. Sci. Nat., Mem., Ser. A, 101.

BARSANTI P. (1997) – *Studio specifico delle risorse idriche degli acquedotti del Bacino dell'Arno*. Rapporto inedito per l'Autorità di Bacino dell'Arno.

BARTOLINI C. & PRANZINI G. (1981) - *Plio-Quaternary evolution of the Arno basin drainage*. Zeitschrift für Geomorphologie, Suppl., BD 40, 77-91.

BONI C., PETITTA M., PREZIOSI E. & SERENI M. (1993) – *Genesi e regime di portata delle acque continentali del Lazio*. Pubblicazione del C.N.R., Roma.

BORGATTI S. (1986) - *Idrogeologia dell'area compresa fra Cortona e i canali di Montecchio e*

- Maestro della Chiana*. Tesi di laurea inedita, Dip. di Scienze della Terra, Univ. di Firenze.
- BUCCI G.L. (1993) - *Idrogeologia dei bacini dei torrenti Pescia di Pescia, Pescia di Collodi e Nievole*. Tesi di laurea inedita, Dipartimento di Scienze della Terra, Università di Firenze.
- CANUTI P., LIBERATORE N. & TACCONI P. (1974) - *Lineamenti idrogeologici del Casentino (alta valle del Fiume Arno)*. Mem. Soc. Geol. Ital., XIII, 549-574.
- CAPECCHI F., GUAZZONE G. & PRANZINI G. (1975) - *L'Osservatorio Freatimetrico Sperimentale di Firenze*. Geologia Tecnica, 1975 (2), 65-71.
- CAPECCHI F. & PRANZINI G. (1986) - *Studi geologici e idrogeologici nella pianura di Pistoia*. Boll. Soc. Geol. Ital., CIV (4), 1985, 601-620.
- CAPECCHI F. & PRANZINI G. (1996) - *Le risorse idriche della Provincia di Pistoia*. Rapporto inedito per la Provincia di Pistoia.
- CAPECCHI F., GUAZZONE G. & PRANZINI G. (1976a) - *Ricerche geologiche e idrogeologiche nel sottosuolo della pianura di Firenze*. Boll. Soc. Geol. Ital., XCVI (4), 1975, 661-692.
- CAPECCHI F., GUAZZONE G. & PRANZINI G. (1976b) - *Il bacino lacustre di Firenze - Prato - Pistoia. Geologia del sottosuolo e ricostruzione evolutiva*. Boll. Soc. Geol. Ital., XCVI (4), 1975, 637-660.
- CICALI F. & PRANZINI G. (1984) - *Idrogeologia e carsismo dei Monti della Calvana (Firenze)*. Boll. Soc. Geol. Ital., CIII (2), 271-278.
- CICALI F. & PRANZINI G. (1987) - *Il rapporto portata delle sorgenti- deflusso di base dei torrenti nel bilancio idrogeologico di un rilievo carbonatico (Monti della Calvana - Firenze)*. Geol. Appl. e Idrogeologia, XXI, 1986, 155- 172.
- CIOLI A. & GHEZZI G. (1996) - *La pianura dell'Arno fra Montelupo e Fucecchio; la Val d'Elsa*. In: *Studio sulle falde idriche delle pianure alluvionali dei bacini dell'Arno e del Serchio*. Relazione inedita dei Dipartimenti di Scienze della Terra delle Università di Firenze e Pisa per l'Autorità di Bacino del Fiume Arno.
- DINI I. (1976) - *La prima falda artesianica della zona di Pisa*. Provincia - Comune di Pisa. DIPARTIMENTI DI SCIENZE DELLA TERRA DELLE UNIVERSITA' DI FIRENZE E DI PISA

- (1996) - *Studio sulle falde idriche delle pianure alluvionali dei bacini dell'Arno e del Serchio*. Relazione inedita per l'Autorità di Bacino del Fiume Arno.
- ECOGEO S.r.l. (1983a) - *Indagine conoscitiva sull'idrogeologia superficiale del campo idrotermale*. Relazione tecnica inedita per il Comune di Montecatini Terme, Pistoia.
- ECOGEO S.r.l. (1983b) - *Studio preliminare sulla utilizzazione delle risorse idriche del Comune di Buggiano*. Relazione tecnica inedita per il Comune di Buggiano, Pistoia.
- FAZZUOLI M. & GUAZZONE G. (1971) - *Studi idrogeologici sul Mugello - Val di Sieve*. Mem. Soc. Geol. Ital., X, 17-51.
- FEDERICI P.R. & MAZZANTI R. (1988) - *L'evoluzione della paleogeografia e della rete idrografica del Valdarno inferiore*. Boll. Soc. Geogr. It. Roma, Ser.XI, Vol. V, 573-615.
- FEDERICI P.R. & MAZZANTI R. (1988) - *L'evoluzione della paleogeografia e della rete idrografica del Valdarno inferiore*. Boll. Soc. Geogr. It. ser. XI, 5, 573-615.
- FEDERICI P.R. & MAZZANTI R. (in stampa) - *Note sulle pianure costiere della Toscana*. Mem.Soc.Geogr.It., 51.
- FRANCALANCI P., GABBANI G., NERONI E. & PRANZINI G. (1988) - *Ricostruzione dei depositi alluvionali del Valdarno Superiore Aretino*. Atti Soc. Tosc. Sc. Nat., serie A, XCV 1988, 1-17.
- GABBANI G., GTI GEOLOGIA TECNICA, GARGINI A. & PRANZINI G. (1992) - *Comune di Pistoia - Studio idrogeologico per la delimitazione delle aree di rispetto dei pozzi comunali*. Relazione inedita.
- GABBANI G. & PRANZINI G. (1991) - *La falda freatica del Valdarno Superiore e la sua vulnerabilità all'inquinamento*. Memorie Valdarnesi della Accademia Valdarnese del Poggio, Montevarchi, Anno 157, Serie VII, 1991, fasc. VII, 43-52.
- GABBANI G., MONZALI S., PRANZINI G. & TARCHI O. (1989) - *I depositi alluvionali del Valdarno Superiore Fiorentino*. Boll. Ingegneri Prov. di Firenze. n.3, 1989, 3-7.
- GABBANI G., PRANZINI G. & VANNOCCI P. (1995) - *Vulnerabilità all'inquinamento della pianura alluvionale*. Scala: 1:25.000. In: *Idrogeomorfologia e risorse idriche del Bacino del Fiume*

Arno. Il Valdarno Superiore. Carta in scala 1:50.000. S.el.ca, Firenze

GALA D. & PRANZINI G. (1999) – *Il bilancio idrico del bacino del Fiume Elsa (affluente dell'Arno)*. Quaderni di Geologia Applicata, 6 – 1. Pitagora, Bologna, 25-42.

GAGLIARDI S. & RAGGI G. (1985) – *Studio idrogeologico della Pianura Pisana*. Amministrazione Comunale di Pisa. Inedito.

GAGLIARDI S. & MEZZETTI F. (1985) – *La pianura dell'Arno fra Fucecchio e Santa Croce*. In: *Studio sulle falde idriche delle pianure alluvionali dei bacini dell'Arno e del Serchio*. Relazione inedita dei Dipartimenti di Scienze della Terra delle Università di Firenze e Pisa per l'Autorità di Bacino del Fiume Arno.

GARGINI A. & PRANZINI G. (1995) – *Map of Protection against Pollution of Middle Valdarno Aquifers*. Atti 76^a Riunione Estiva della Società Geologica Italiana: I piani di Bacino, Firenze, 24 Sett. 1992.

GARUGLIERI A., GRIFFINI O., PERUZZI P. & PRANZINI G. (1990) – *L'inquinamento da organoalogenati nelle acque di falda della zona nord-ovest di Firenze*. Tip. Cavour, Firenze, 33 pp.

GEOTECNO per l'Ass. Intecomunale n. 24 Valdichiana Est (1990) – *Studi e ricerche idrogeologiche per la difesa delle risorse idriche ed il potenziamento degli acquedotti*. Rapporto inedito.

GEOTECNO (1995) – *Catasto georeferenziato delle piccole e grandi derivazioni. Catasto georeferenziato degli scarichi industriali e civili*. Relazione tecnica per l'Autorità di Bacino del Fiume Arno, Firenze.

GEOTECNO (1998) – *Bacino idrografico del Fiume Arno: Studio per il bilancio idrico del bacino, censimento dei prelievi delle acque sotterranee*. Relazione tecnica per l'Autorità di Bacino del Fiume Arno, Firenze.

LANDINI F. (1996) – *La Val di Pesa*. In: *Studio sulle falde idriche delle pianure alluvionali dei bacini dell'Arno e del Serchio*. Relazione inedita dei Dipartimenti di Scienze della Terra delle Università di Firenze e Pisa per l'Autorità di Bacino del Fiume Arno.

LANDINI F. & PRANZINI G. (1991) – *Hydrogeologic balance of an overexploited aquifer (Prato Fan, Italy) and corrective measures for the water resources management*. Atti del XXII Congr.

A.I.H. "Aquifer overexploitation", Canary Island, Spain, April 1991, 227-230.

LANDINI F. & PRANZINI G. (1996) – *The wool Industry in Prato and the Groundwater*. Proceedings 1st Intern. Conf. "The impact of industry on groundwater resources", 22-24 May 1996, Cernobbio (Como), 137-148.

LANDINI F. & PRANZINI G. (2001) – *Le osservazioni piezometriche della falda pratese: un percorso tra necessità e consapevolezza*. In: 1957-1999 La Falda pratese: oltre quarant'anni di monitoraggio e caratteristiche ambientali. Pubbl. Consiag, Prato, 7-13.

LANDINI F., PRANZINI G. & VENTURUCCI E. (1990) – *La falda idrica della conoide di Prato (Firenze)*. Acque Sotterranee, Giugno 1990, 48-70.

MARCELLO C. (1997) – *Disponibilità idriche superficiali e minimi vitali*. Regione Lazio. Assessorato Opere e Reti di Servizi e Mobilità - Autorità dei Bacini Regionali. Roma.

MAZZANTI R. (1986) – *Il punto sul Quaternario della fascia costiera e dell'Arcipelago di Toscana* - Boll. Soc. Geol. It. 102

MIN. LL.PP. - Servizio Idrografico - *Annali Idrologici*. parte I, 1951-1980. Poligrafico dello Stato, Roma.

MINISTERO DELL'AGRICOLTURA E DELLE FORESTE (1980) – *Progetto pilota per la salvaguardia e la valorizzazione del Padule di Fucecchio* a cura del Consorzio di Bonifica del Padule di Fucecchio, Ponte Buggianese, luglio 1977.

NARDI R., NOLLEDI G. & ROSSI F. (1987) – *Geologia e idrogeologia della Piana di Lucca*. Geogr. Fis. Dinam. Quat., 10, 1-30.

NOLLEDI G. (1996) – *La pianura di Lucca*. In: *Studio sulle falde idriche delle pianure alluvionali dei bacini dell'Arno e del Serchio*. Relazione inedita dei Dipartimenti di Scienze della Terra delle Università di Firenze e Pisa per l'Autorità di Bacino del Fiume Arno.

PEDONE A. (1994) – *Acque sotterranee*. In: Relazione sullo stato dell'ambiente nel Comune di Arezzo. A cura di Comune di Arezzo - Assessorato Ambiente Sanità e Servizi tecnologici.

PICCINI L. & PRANZINI G. (1990) – *Idrogeologia e carsismo del bacino del Fiume Frigido (Alpi Apuane)*. Atti Soc. Tosc. Sc. Nat., Serie A, XCVI, 1989, 1-46.

PICCINI L., PRANZINI G., TEDICI L. & FORTI P. (1998) - *Carta delle risorse idriche degli acquiferi carbonatici del Comprensorio Apuo-Versiliese*. Carta in scala 1:50.000, ARCA, Firenze.

PINUCCI G. (1977) - *Geomorfologia e geologia del sottosuolo del bacino del padule di Fucecchio-Le Cerbaie*. Tesi di Laurea inedita, Facoltà di Sc., Mat., Fis. e Nat., Firenze.

PRANZINI G. (1990) - *Le acque sotterranee. Elementi di Idrogeologia..* Dipartimento di Scienze della Terra, Università di Firenze.

PRANZINI G. (1992) - *Distribuzione e portata delle sorgenti in alcune formazioni geologiche dell'Appennino Settentrionale*. Atti del Convegno "Ricerca e Protezione delle Risorse Idriche Sotterranee delle Aree Montuose". Brescia, 24 e 25 Ott. 1991, 3-36.

PRANZINI G. (2001) - *Bilancio idrologico dei bacini idrografici, studio delle risorse idriche sotterranee, con bilancio idrogeologico delle falde principali e definizione degli interventi di salvaguardia e corretta gestione di quelle utilizzate dagli acquedotti pubblici. Relazione finale*. Rapporto inedito del Dipartimento di Scienze della Terra dell'Università di Firenze per il Piano Territoriale di Coordinamento della Provincia di Firenze.

PUCCINELLI A. & VERANI M. (1996) - *La Valdinievole*. In: *Studio sulle falde idriche delle pianure alluvionali dei bacini dell'Arno e del Serchio*. Relazione inedita dei Dipartimenti di Scienze della Terra delle Università di Firenze e Pisa per l'Autorità di Bacino del Fiume Arno.

RAPETTI F. & VITTORINI S. (senza data) - *Relazione su uno studio climatico del Bacino dell'Arno*. Centro di Studio per la Geologia Strutturale e Dinamica dell'Appennino, C.N.R., Pisa.

ROSSI S. & SPANDRE R. (1994) - *L'intrusione marina nella falda artesianica in ghiaia nel litorale pisano*. Acque Sotterranee n. 51

SCORTECCI B. (1997) - *Vulnerabilità della falda acquifera in Val di Chiana in relazione alla qualità delle acque*. Tesi di laurea inedita, Dipartimento di Scienze della Terra, Università di Firenze.

SPANDRE R. & Meriggi A. (1995) - *Studio idrologico ed idrogeologico del bacino del Lago di Massaciuccoli*. Parco Naturale Migliarino, san Rossore, Massaciuccoli. VOL 6 (in stampa).

TARCHI V. (1998) - *Studio idrogeologico dei depositi alluvionali del Casentino*. Tesi di laurea

inedita. Dipartimento di Scienze della Terra, Università di Firenze.

TREVISAN L. & TONGIORGI E. (1953) - *Le acque del sottosuolo della Regione Pisana*. La Provincia Pisana 9-10, Pisa.

VARLECCHI D. (1977) - *Idrologia e freatimetria del Padule di Fucecchio*. Tesi di Laurea inedita, Dipartimento di Scienze della Terra, Università di Firenze.

QUADRO NORMATIVO CRONOLOGICO DI RIFERIMENTO

R.D. 15.10.1925, n. 2578	Approvazione del testo unico della legge sull'assunzione diretta dei pubblici servizi da parte dei comuni e delle province (pubblicata in G.U. 4.3.1926, n. 52)
R.D. 11.12.1933, n. 1775	Testo unico delle disposizioni di legge sulle acque e impianti elettrici (pubblicata in G.U. 8.1.1934, n. 5)
R.D. 3.3.1934, N. 383	Approvazione del testo unico della legge comunale e provinciale (pubblicato in S.O. alla G.U. 17.3.1934, n. 65)
Legge 26.6.1939, n. 1497	Protezione delle bellezze naturali (pubblicata in G.U. 14.10.1939, n. 241)
Legge 19.3.1952, n. 184	Piano orientativo ai fini di una sistematica regolazione delle acque e relazione annua al Ministero dei lavori pubblici (pubblicata in G.U. 7.4.1952, n. 83)
D.P.R. 1.11.1959, n. 1363	Approvazione del regolamento per la compilazione dei progetti, la costruzione e l'esercizio delle dighe di ritenuta (pubblicato in G.U. 24.3.1970, n. 72)
Legge 25.1.1962, n. 11	Piano di attuazione per una sistematica regolazione dei corsi d'acqua naturali (pubblicata in G.U. 9.2.1962, n. 36)
Legge 4.2.1963, n. 129	Piano regolatore generale degli acquedotti e delega al governo ad emanare le relative norme di attuazione (pubblicata in G.U. 2.3.1963, n. 59)
D.P.R. 3.8.1968	Legge 27.7.1967, n. 632 Autorizzazione di spesa per l'esecuzione di opere di sistemazione e difesa del suolo (pubblicata in G.U. 7.8.1967, n. 197)
D.P.R. 15.1.1972, n. 8	Piano regolatore generale degli acquedotti. (pubblicato in G.U. 25.2.1969, n. 50)
	Trasferimento alle Regioni a statuto ordinario delle funzioni amministrative statali in materia di urbanistica e di viabilità, acquedotti e lavori pubblici di interesse regionale e dei relativi personali ed uffici. (pubblicato in S.O. alla G.U. 29.1.1972, n. 26)

Legge 22.7.1975, n. 382	Norme sull'ordinamento regionale e sulla organizzazione della pubblica amministrazione (pubblicata in G.U. 20.8.1975, n. 220)
Legge 13.3.1976, n. 448	Esecuzione della convenzione relativa alle zone umide d'importanza internazionale, soprattutto come habitat degli uccelli acquatici, firmata a Ramsar il 2 febbraio 1971 (Pubblicato in G. U. 3 luglio 1976, n. 173)
Legge 10.5.1976, n. 319	Tutela delle acque dall'inquinamento (pubblicata in G.U. 29.6.1976, n. 141)
D.P.R. 24.7.1977, n. 616	Attuazione alla delega di cui all'art. 1 della Legge 22.7.1975, n. 382 (pubblicato in S.O. alla G.U. 29.8.1977, n. 234)
D.P.R. 3.7.1982, n. 515	Attuazione della direttiva CEE n. 75/440 concernente la qualità delle acque superficiali destinate alla produzione di acqua potabile. (pubblicato in G.U. 7.8.1982, n. 216)
D.P.R. 10.9.1982, n. 915	Attuazione delle direttive (CEE) numero 75/442 relativa ai rifiuti, n. 76/403 relativa allo smaltimento dei policlorodifenili e dei policlorotrifenili e numero 78/319 relativa ai rifiuti tossici e nocivi (pubblicato in G.U. 15.12.1982, n. 343)
Legge 8.8.1985, n. 431	Conversione in legge, con modificazioni, del decreto legge 27 giugno 1985, n. 312, recante disposizioni urgenti per la tutela delle zone di particolare interesse ambientale. Integrazioni dell'art. 82 del D.P.R. 24 luglio 1977, n. 616. (pubblicata in G.U. 22.8.1985, n. 197)
D.P.R. 4.10.1986, n. 902	Approvazione del nuovo regolamento delle aziende di servizi dipendenti dagli enti locali (pubblicato in S.O. alla G.U. 27.12.1986, n. 299)
Legge 29.10.1987, n. 441	Conversione in legge, con modificazioni, del decreto-legge 31 agosto 1987, n. 361, recante disposizioni urgenti in materia di smaltimento dei rifiuti. (pubblicata in G.U. 31.10.1987, n. 255)
D.P.R. 24.5.1988, n. 236	Attuazione della direttiva CEE numero 80/778 concernente la qualità delle acque destinate al consumo umano, ai sensi dell'art. 15 della legge 16 aprile 1987, n. 183 (pubblicato in S.O. alla G.U. 30.6.1988, n. 152)

Legge 18.5.1989, n. 183	Norme per il riassetto organizzativo e funzionale della difesa del suolo (pubblicata in S.O. alla G.U. 25.5.1989, n. 120)
Legge 8.6.1990, n. 142	Ordinamento delle autonomie locali (pubblicata in S.O. alla G.U. 12.6.1990, n. 135)
D. Lgs. 19.12.1991, n. 406	Attuazione della direttiva 89/440/CEE in materia di procedure di aggiudicazione degli appalti di lavori pubblici (pubblicato in S.O. alla G.U. 27.12.1991, n. 302)
D. Lgs. 25.1.1992, n. 130	Attuazione della direttiva 78/659/CEE sulla qualità delle acque dolci che richiedono protezione o miglioramento alla vita dei pesci (pubblicato in S.O. alla G.U. 19.2.1992, n. 41)
D. Lgs. 27.1.1992, n. 132	Attuazione della direttiva 80/68 CEE concernente la protezione delle acque sotterranee dall'inquinamento provocato da certe sostanze pericolose (pubblicato in S.O. alla G.U. 19.2.1992, n. 41)
D. Lgs. 27.1.1992, n. 133	Attuazione delle direttive 76/464/CEE, 82/176/CEE, 83/513/CEE, 84/156/CEE, 84/491/CEE, 88/347/CEE e 90/415/CEE in materia di scarichi industriali di sostanze pericolose nelle acque. (pubblicato in S.O. alla G.U. 19.2.1992, n. 41)
Legge 23.12.1992, n. 498	Interventi urgenti in materia di finanza pubblica (pubblicata in G.U. 29.12.1992 n. 304)
D. Lgs. 30.12.1992, n. 504	Riordino della finanza degli enti territoriali, a norma dell'articolo 4 della legge 23 ottobre 1992, n. 421. (pubblicato in S.O. alla G.U. 30.12.1992, n. 305)
D. Lgs. 12.7.1993, n. 275	Riordino in materia di concessione di acque pubbliche (pubblicato in G.U. 5.8.1993, n. 182)
Legge 5.1.1994, n. 36	Disposizioni in materia di risorse idriche (pubblicata in S.O. alla G.U. 19.1.1994, n. 14)
Legge 21.1.1994, n. 61	Conversione in legge, con modificazioni, del D. L. 4 dicembre 1993, n. 496, recante disposizioni urgenti sulla riorganizzazione dei controlli ambientali e istituzione dell'Agenzia nazionale per la protezione dell'ambiente. (pubblicata in G.U. 27.1.1994, n. 21)

Legge 17.5.1995, n. 172	Conversione in legge, con modificazioni, del D. L. 17 marzo 1995, n. 79, recante modifiche alla disciplina degli scarichi delle pubbliche fognature e degli insediamenti civili che non recapitano in pubbliche fognature (pubblicata in G.U. 17.5.1995, n. 113)
Legge 2.6.1995, n. 216	Conversione in legge, con modificazioni, del D. L. 3 aprile 1995, n. 101, recante norme urgenti in materia di lavori pubblici. (pubblicata in G.U. 2.6.1995, n. 127)
D.P.R. 18.7.1995	Approvazione dell'atto di indirizzo e coordinamento concernente i criteri per la redazione dei piani di bacini (pubblicata in G.U. 10.1.1996, n. 7)
D.P.C.M. 4.3.1996	Disposizioni in materia di risorse idriche (pubblicato in S.O. alla G.U. 4.3.1996, n. 62)
D.P.R. 18.2.1999, n. 238	Regolamento recante norme per l'attuazione di alcune disposizioni della legge 5 gennaio 1994 n. 36, in materia di risorse idriche (pubblicata in G.U. 26.7.1999, n. 173)
D.P.C.M. 29.4.1999	Schema generale di riferimento per la predisposizione della carta del servizio idrico integrato (pubblicato in G.U. 1.6.1999, n. 126)
Legge 30.4.1999, n. 136	Norme per il sostegno ed il rilancio dell'edilizia residenziale pubblica e per interventi in materia di opere a carattere ambientale (pubblicato in S.O. alla G.U. 18.5.1999, n. 114)
D. Lgs. 11.5.1999, n. 152	Disposizioni sulla tutela delle acque dall'inquinamento e recepimento della direttiva 91/271/CEE concernente il trattamento delle acque reflue urbane e della direttiva 91/676/CEE relativa alla protezione delle acque dall'inquinamento provocato dai nitrati provenienti da fonti agricole. (pubblicato in S.O. alla G.U. 29.5.1999, n. 124)
Legge 17.8.1999, n. 290	Proroga dei termini nel settore agricolo (pubblicato in G.U. 20.8.1999, n. 195)
D. Lgs. 18.8.2000, n. 258	Disposizioni correttive ed integrative del decreto legislativo 11 maggio 1999, n. 152, in materia di tutela delle acque dall'inquinamento, a norma dell'art. 1, comma 4, della legge 24 aprile 1998, n. 128. (pubblicato in S.O. alla G.U. 18.9.2000, n. 218)

DIRETTIVE CEE

DIR. 16.6.1975, n. 75/440/CEE	Direttiva del Consiglio concernente la qualità delle acque superficiali destinate alla produzione di acqua potabile negli Stati membri (pubblicata in G.U.C.E. 25.7.1975, n. 194)
DIR. 17.12.1979, n. 80/68/CEE	Direttiva del Consiglio concernente la qualità delle acque destinate al consumo umano (pubblicata in G.U.C.E. 30.8.1980, n. 229)
DIR. 27.6.1985, n. 85/337/CEE	Direttiva del Consiglio concernente il trattamento delle acque reflue urbane (pubblicata in G.U.C.E. 30.5.1991, n. 135)
DIR. 21.5.1991, n. 91/271/CEE	Direttiva del Consiglio concernente il trattamento delle acque reflue urbane (pubblicata in G.U.C.E. 30.5.1991, n. 135)
DIR. 12.12.1991, n. 91/676/CEE	Direttiva del Consiglio relativa alla protezione delle acque dall'inquinamento provocato dai nitrati provenienti da fonti agricole. (pubblicata in G.U.C.E. 31.12.1991, n. 375)
DIR 2000/60/CE	Direttiva del Parlamento Europeo e del Consiglio del 23 novembre 2000 che istituisce un quadro comunitario in materia di acque. (pubblicata in G.U.C.E. 22.12.2000, n. 327/1)



Autorità di Bacino del Fiume Arno

BILANCIO IDROGEOLOGICO DEL BACINO DELL'ARNO

Appendici

APPENDICE 1

BILANCI MEDI MENSILI
ALLE SEZIONI IDROGRAFICHE (BACINI DELLA SERIE A)

Tabelle e diagrammi

Periodo considerato : 1960-1991							
A Can. Maestro della Chiana a pon. ferr. Fi-Ro (Area in Km ² : 1285,18)							
Mesi	P in mm	D in mm	T in °C	Mesi	P in milioni di m ³	D in milioni di m ³	D/P
Gen.	57,06	29,66	3,53	Gen.	73,33	38,11	0,52
Feb.	64,71	33,06	7,31	Feb.	83,16	42,49	0,51
Mar.	60,16	27,06	9,76	Mar.	77,31	34,78	0,45
Apr.	64,47	15,44	13,06	Apr.	82,85	19,84	0,24
Mag.	64,26	9,61	17,40	Mag.	82,59	12,35	0,15
Giu.	54,46	7,24	21,14	Giu.	69,99	9,31	0,13
Lug.	33,09	1,48	24,67	Lug.	42,52	1,91	0,04
Ago.	48,30	1,24	24,45	Ago.	62,08	1,60	0,03
Set.	72,25	3,90	21,15	Set.	92,86	5,01	0,05
Ott.	90,10	11,18	16,58	Ott.	115,79	14,37	0,12
Nov.	102,60	22,81	11,09	Nov.	131,85	29,31	0,22
Dic.	70,25	28,95	7,15	Dic.	90,29	37,21	0,41

Periodo considerato : 1960-1991							
B Arno a Subbiano (Area in Km ² : 749,619)							
Mesi	P in mm	D in mm	T in °C	Mesi	P in milioni di m ³	D in milioni di m ³	D/P
Gen.	105,91	104,57	2,97	Gen.	79,39	78,39	0,99
Feb.	108,97	107,85	3,51	Feb.	81,68	80,85	0,99
Mar.	107,04	101,19	5,83	Mar.	80,24	75,86	0,95
Apr.	105,32	86,05	9,00	Apr.	78,95	64,50	0,82
Mag.	89,18	57,19	13,37	Mag.	66,85	42,87	0,64
Giu.	76,39	32,44	16,89	Giu.	57,26	24,32	0,42
Lug.	47,69	9,82	19,71	Lug.	35,75	7,36	0,21
Ago.	70,22	7,23	19,79	Ago.	52,63	5,42	0,10
Set.	90,85	14,99	16,54	Set.	68,10	11,23	0,16
Ott.	125,12	41,33	12,30	Ott.	93,79	30,98	0,33
Nov.	161,17	90,97	7,13	Nov.	120,81	68,19	0,56
Dic.	127,91	115,65	3,72	Dic.	95,89	86,70	0,90

Periodo considerato : 1960-1991							
C Arno a Stia (Area in Km ² : 60,202)							
Mesi	P in mm	D in mm	T in °C	Mesi	P in milioni di m ³	D in milioni di m ³	D/P
Gen.	106,34	100,68	1,94	Gen.	6,40	6,06	0,95
Feb.	104,16	102,39	2,42	Feb.	6,27	6,16	0,98
Mar.	106,31	104,00	4,74	Mar.	6,40	6,26	0,98
Apr.	106,86	93,37	7,86	Apr.	6,43	5,62	0,87
Mag.	91,29	60,22	12,27	Mag.	5,50	3,63	0,66
Giu.	83,47	32,86	15,88	Giu.	5,02	1,98	0,39
Lug.	55,19	12,19	18,87	Lug.	3,32	0,73	0,22
Ago.	74,95	10,12	18,87	Ago.	4,51	0,61	0,14
Set.	94,79	16,70	15,67	Set.	5,71	1,01	0,18
Ott.	119,57	57,71	11,34	Ott.	7,20	3,47	0,48
Nov.	151,11	92,45	6,22	Nov.	9,10	5,57	0,61
Dic.	116,54	105,24	2,83	Dic.	7,02	6,34	0,90

Periodo considerato : 1960-1991							
D Sieve a Fornacina (Area in Km² : 809,131)							
Mesi	P in mm	D in mm	T in °C	Mesi	P in milioni di m ³	D in milioni di m ³	D/P
Gen.	97,27	79,00	3,24	Gen.	78,71	63,92	0,81
Feb.	95,20	78,64	4,43	Feb.	77,03	63,63	0,83
Mar.	102,53	75,49	6,86	Mar.	82,96	61,08	0,74
Apr.	97,98	65,38	10,33	Apr.	79,28	52,90	0,67
Mag.	81,97	42,97	14,29	Mag.	66,33	34,76	0,52
Giu.	71,34	24,12	17,91	Giu.	57,72	19,51	0,34
Lug.	42,71	8,32	20,71	Lug.	34,56	6,73	0,19
Ago.	74,01	5,90	20,69	Ago.	59,89	4,78	0,08
Set.	90,70	10,85	17,60	Set.	73,39	8,78	0,12
Ott.	117,21	26,44	13,06	Ott.	94,84	21,39	0,23
Nov.	149,20	60,46	8,04	Nov.	120,73	48,92	0,41
Dic.	114,18	74,17	4,16	Dic.	92,38	60,02	0,65

Periodo considerato : 1960-1991							
E Sieve a Ponte del Bilancino (Area in Km² : 150,421)							
Mesi	P in mm	D in mm	T in °C	Mesi	P in milioni di m ³	D in milioni di m ³	D/P
Gen.	124,73	95,21	3,30	Gen.	18,76	14,32	0,76
Feb.	107,75	85,78	4,50	Feb.	16,21	12,90	0,80
Mar.	114,99	79,99	6,95	Mar.	17,30	12,03	0,70
Apr.	104,53	60,19	10,43	Apr.	15,72	9,05	0,58
Mag.	83,92	30,53	14,39	Mag.	12,62	4,59	0,36
Giu.	75,94	27,07	18,02	Giu.	11,42	4,07	0,36
Lug.	39,73	7,11	20,81	Lug.	5,98	1,07	0,18
Ago.	77,09	3,53	20,78	Ago.	11,60	0,53	0,05
Set.	102,60	15,74	17,69	Set.	15,43	2,37	0,15
Ott.	136,65	36,43	13,14	Ott.	20,55	5,48	0,27
Nov.	167,13	84,96	8,10	Nov.	25,14	12,78	0,51
Dic.	131,28	90,65	4,21	Dic.	19,75	13,64	0,69

Periodo considerato : 1960-1991							
F Bisenzio a Gamberame (Area in Km² : 150,828)							
Mesi	P in mm	D in mm	T in °C	Mesi	P in milioni di m ³	D in milioni di m ³	D/P
Gen.	153,97	112,23	3,49	Gen.	23,22	16,93	0,73
Feb.	127,20	103,79	4,52	Feb.	19,19	15,66	0,82
Mar.	135,79	107,67	6,79	Mar.	20,48	16,24	0,79
Apr.	120,01	85,23	9,99	Apr.	18,10	12,85	0,71
Mag.	92,45	55,24	13,90	Mag.	13,94	8,33	0,60
Giu.	75,04	32,47	17,50	Giu.	11,32	4,90	0,43
Lug.	42,28	15,31	20,70	Lug.	6,38	2,31	0,36
Ago.	73,49	12,44	20,50	Ago.	11,08	1,88	0,17
Set.	103,57	19,64	17,46	Set.	15,62	2,96	0,19
Ott.	150,62	46,86	12,95	Ott.	22,72	7,07	0,31
Nov.	190,10	85,46	8,04	Nov.	28,67	12,89	0,45
Dic.	153,28	104,51	4,43	Dic.	23,12	15,76	0,68

Periodo considerato : 1960-1991							
G Elsa a Castelfiorentino (Area in Km² : 798,309)							
Mesi	P in mm	D in mm	T in °C	Mesi	P in milioni di m ³	D in milioni di m ³	D/P
Gen.	64,33	26,09	5,50	Gen.	51,35	20,82	0,41
Feb.	67,60	25,66	6,66	Feb.	53,97	20,48	0,38
Mar.	69,45	24,24	9,03	Mar.	55,45	19,35	0,35
Apr.	70,17	20,43	12,11	Apr.	56,01	16,31	0,29
Mag.	63,15	13,87	16,10	Mag.	50,41	11,07	0,22
Giu.	52,92	8,97	19,82	Giu.	42,25	7,16	0,17
Lug.	34,11	7,21	22,79	Lug.	27,23	5,75	0,21
Ago.	52,88	6,09	22,81	Ago.	42,21	4,86	0,12
Set.	71,28	8,06	19,43	Set.	56,90	6,43	0,11
Ott.	99,48	17,13	15,00	Ott.	79,41	13,67	0,17
Nov.	109,58	21,35	9,96	Nov.	87,47	17,04	0,19
Dic.	81,04	26,89	6,30	Dic.	64,69	21,46	0,33

Periodo considerato : 1960-1991							
H Bisenzio a Praticello (Area in Km² : 59,619)							
Mesi	P in mm	D in mm	T in °C	Mesi	P in milioni di m ³	D in milioni di m ³	D/P
Gen.	185,19	124,20	2,88	Gen.	11,04	7,40	0,67
Feb.	151,10	110,11	3,81	Feb.	9,01	6,56	0,73
Mar.	157,07	124,73	6,01	Mar.	9,36	7,44	0,79
Apr.	137,48	91,86	9,16	Apr.	8,20	5,48	0,67
Mag.	102,27	58,85	13,02	Mag.	6,10	3,51	0,58
Giu.	79,97	33,07	16,63	Giu.	4,77	1,97	0,41
Lug.	43,05	13,11	19,86	Lug.	2,57	0,78	0,30
Ago.	72,70	13,18	19,66	Ago.	4,33	0,79	0,18
Set.	109,31	22,78	16,70	Set.	6,52	1,36	0,21
Ott.	169,38	58,15	12,22	Ott.	10,10	3,47	0,34
Nov.	220,31	98,18	7,47	Nov.	13,13	5,85	0,45
Dic.	177,92	115,08	3,90	Dic.	10,61	6,86	0,65

Periodo considerato : 1960-1991							
I Nievole a Colonna (Area in Km² : 39,337)							
Mesi	P in mm	D in mm	T in °C	Mesi	P in milioni di m ³	D in milioni di m ³	D/P
Gen.	139,44	74,48	4,38	Gen.	5,49	2,93	0,53
Feb.	122,00	78,41	5,50	Feb.	4,80	3,08	0,64
Mar.	124,48	68,47	7,86	Mar.	4,90	2,69	0,55
Apr.	109,16	49,12	10,94	Apr.	4,29	1,93	0,45
Mag.	91,61	31,64	14,87	Mag.	3,60	1,24	0,35
Giu.	65,44	14,10	18,45	Giu.	2,57	0,55	0,22
Lug.	38,74	5,11	21,45	Lug.	1,52	0,20	0,13
Ago.	74,24	6,98	21,31	Ago.	2,92	0,27	0,09
Set.	108,84	7,16	18,27	Set.	4,28	0,28	0,07
Ott.	149,68	24,50	13,86	Ott.	5,89	0,96	0,16
Nov.	167,88	49,84	8,80	Nov.	6,60	1,96	0,30
Dic.	140,13	57,98	5,22	Dic.	5,51	2,28	0,41

Periodo considerato : 1960-1991							
L Arno a S.Giovanni alla Vena (Area in Km ² : 8202,94)							
Mesi	P in mm	D in mm	T in °C	Mesi	P in milioni di m ³	D in milioni di m ³	D/P
Gen.	81,63	45,42	4,81	Gen.	669,59	372,61	0,56
Feb.	81,60	44,87	6,00	Feb.	669,34	368,08	0,55
Mar.	82,83	43,73	8,56	Mar.	679,45	358,69	0,53
Apr.	81,46	35,69	11,82	Apr.	668,24	292,76	0,44
Mag.	72,76	24,05	16,04	Mag.	596,86	197,24	0,33
Giu.	60,43	14,12	19,53	Giu.	495,67	115,79	0,23
Lug.	38,23	4,81	22,70	Lug.	313,57	39,49	0,13
Ago.	59,43	3,15	22,57	Ago.	487,51	25,81	0,05
Set.	80,71	6,35	19,38	Set.	662,03	52,10	0,08
Ott.	107,74	16,41	14,78	Ott.	883,77	134,64	0,15
Nov.	126,72	33,26	9,43	Nov.	1039,45	272,79	0,26
Dic.	96,15	41,92	5,80	Dic.	788,71	343,84	0,44

Periodo considerato : 1960-1991							
M Arno a Nave di Rosano (Area in Km ² : 4124,98)							
Mesi	P in mm	D in mm	T in °C	Mesi	P in milioni di m ³	D in milioni di m ³	D/P
Gen.	78,65	61,09	4,23	Gen.	324,41	251,98	0,78
Feb.	82,34	62,67	5,38	Feb.	339,66	258,52	0,76
Mar.	81,81	58,97	7,85	Mar.	337,46	243,24	0,72
Apr.	82,59	48,57	11,20	Apr.	340,69	200,35	0,59
Mag.	75,39	28,69	15,40	Mag.	311,00	118,36	0,38
Giu.	63,25	17,65	18,97	Giu.	260,89	72,80	0,28
Lug.	39,28	6,03	22,05	Lug.	162,03	24,87	0,15
Ago.	59,35	4,10	21,92	Ago.	244,81	16,90	0,07
Set.	81,16	8,80	18,65	Set.	334,77	36,29	0,11
Ott.	104,44	20,68	14,04	Ott.	430,83	85,32	0,20
Nov.	127,39	45,66	8,83	Nov.	525,49	188,33	0,36
Dic.	95,72	55,25	5,06	Dic.	394,83	227,91	0,58

Periodo considerato : 1960-1991							
N Greve a Ponte dei Falciani (Area in Km ² : 116,057)							
Mesi	P in mm	D in mm	T in °C	Mesi	P in milioni di m ³	D in milioni di m ³	D/P
Gen.	63,90	25,87	4,25	Gen.	7,42	3,00	0,40
Feb.	68,99	30,71	5,39	Feb.	8,01	3,56	0,45
Mar.	69,24	27,59	7,84	Mar.	8,04	3,20	0,40
Apr.	70,36	25,13	11,00	Apr.	8,17	2,92	0,36
Mag.	72,09	21,71	15,09	Mag.	8,37	2,52	0,30
Giu.	54,84	7,87	18,67	Giu.	6,36	0,91	0,14
Lug.	42,52	3,82	21,72	Lug.	4,93	0,44	0,09
Ago.	53,37	1,29	21,50	Ago.	6,19	0,15	0,02
Set.	70,23	4,39	18,20	Set.	8,15	0,51	0,06
Ott.	91,16	8,72	13,64	Ott.	10,58	1,01	0,10
Nov.	112,03	28,87	8,63	Nov.	13,00	3,35	0,26
Dic.	82,91	29,51	5,01	Dic.	9,62	3,43	0,36

Periodo considerato : 1960-1991							
O Pesa a Sambuca (Area in Km ² : 113,281)							
Mesi	P in mm	D in mm	T in °C	Mesi	P in milioni di m ³	D in milioni di m ³	D/P
Gen.	69,72	52,09	3,94	Gen.	7,90	5,90	0,75
Feb.	73,82	48,12	4,99	Feb.	8,36	5,45	0,65
Mar.	72,85	41,36	7,42	Mar.	8,25	4,69	0,57
Apr.	75,50	38,82	10,55	Apr.	8,55	4,40	0,51
Mag.	72,25	32,39	14,65	Mag.	8,18	3,67	0,45
Giu.	52,93	16,29	18,22	Giu.	6,00	1,85	0,31
Lug.	37,92	4,98	21,28	Lug.	4,30	0,56	0,13
Ago.	54,62	2,88	21,07	Ago.	6,19	0,33	0,05
Set.	71,63	4,70	17,79	Set.	8,11	0,53	0,07
Ott.	97,02	11,14	13,28	Ott.	10,99	1,26	0,11
Nov.	115,53	41,32	8,29	Nov.	13,09	4,68	0,36
Dic.	85,64	42,55	4,71	Dic.	9,70	4,82	0,50

Periodo considerato : 1960-1991							
P Era a Capannoli (Area in Km ² : 335,313)							
Mesi	P in mm	D in mm	T in °C	Mesi	P in milioni di m ³	D in milioni di m ³	D/P
Gen.	70,13	47,97	6,24	Gen.	23,51	16,08	0,68
Feb.	75,67	44,70	7,30	Feb.	25,37	14,99	0,59
Mar.	76,87	44,17	9,77	Mar.	25,78	14,81	0,57
Apr.	73,28	34,39	12,82	Apr.	24,57	11,53	0,47
Mag.	60,96	15,90	16,69	Mag.	20,44	5,33	0,26
Giu.	53,88	6,10	20,40	Giu.	18,07	2,04	0,11
Lug.	35,97	2,71	23,58	Lug.	12,06	0,91	0,08
Ago.	54,64	1,64	23,46	Ago.	18,32	0,55	0,03
Set.	75,12	9,50	20,22	Set.	25,19	3,19	0,13
Ott.	106,97	20,23	15,90	Ott.	35,87	6,78	0,19
Nov.	116,08	40,91	10,72	Nov.	38,92	13,72	0,35
Dic.	85,96	52,54	7,07	Dic.	28,82	17,62	0,61

Periodo considerato : 1960-1991							
Q Vincio a Cireglio (Area in Km ² : 1,44)							
Mesi	P in mm	D in mm	T in °C	Mesi	P in milioni di m ³	D in milioni di m ³	D/P
Gen.	199,26	195,98	2,54	Gen.	0,29	0,28	0,98
Feb.	168,53	150,24	3,32	Feb.	0,24	0,22	0,89
Mar.	164,60	169,86	5,49	Mar.	0,24	0,24	1,03
Apr.	136,83	115,54	8,53	Apr.	0,20	0,17	0,84
Mag.	109,35	80,70	12,41	Mag.	0,16	0,12	0,74
Giu.	82,99	40,36	15,98	Giu.	0,12	0,06	0,49
Lug.	48,15	9,33	19,04	Lug.	0,07	0,01	0,19
Ago.	88,32	16,13	19,09	Ago.	0,13	0,02	0,18
Set.	126,46	28,26	16,11	Set.	0,18	0,04	0,22
Ott.	183,79	85,85	11,77	Ott.	0,26	0,12	0,47
Nov.	226,69	180,22	7,06	Nov.	0,33	0,26	0,79
Dic.	200,38	178,01	3,58	Dic.	0,29	0,26	0,89